

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**FAKULTA STROJNÍ**

**KATEDRA ROBOTIKY**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Robotizované pracoviště pro umělecké řezbářství

A Robotic Cell for Artistic Carving

Student:

Ing. Michal Mitáček, MBA, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2020

# Zadaní práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra robotiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Michal Mitáček, Ph.D., MBA**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Robotizované pracoviště pro umělecké řezbářství**  
**A Robotic Cell for Artistic Carving**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište uvažovanou aplikační oblast a hrubý koncept pracoviště. Proved'te rešerši obdobných pracovišť. Analyzujte potřebné mechanické HW a SW nástroje pro zajištění funkčnosti pracoviště.
2. Sestavte podrobný požadavkový list na pracoviště a jeho jednotlivé části.
3. Navrhněte varianty řešení pracoviště dle sestaveného požadavkového listu. Z navržených variant vyberte nejvhodnější dle zvolených kritérií.
4. Zvolenou variantu pracoviště podrobně rozpracujte.
5. Proved'te technickoekonomické zhodnocení navrženého pracoviště a stanovte předpoklady pro jeho realizaci při stanovené době návratnosti investice.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a dokumentaci k pracovišti dle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

BURKOVÍČ, J. *Projektování a provoz RTP*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2004. 118 s. ISBN 80-248-0709-2.

BURKOVÍČ, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

PALKO, A., SMRČEK, J. *Robotika, Koncové efektory pre priemyslné a servisné roboty, Navrhovanie – Konštrukcia - Riešenia*. 1. vydání. Košice: TU v Košiciach, 2004. 274 s. ISBN 80-8073-218-3.

NOVÁK, P. *Průmyslové řídicí systémy*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 104 s. ISBN 80-7078-733-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kryš, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 14.5.2020



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.



V Ostravě: dne 14.5.2020

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ing. Michal Mitáček, MBA, Ph.D.

Adresa trvalého pobytu autora práce: Zlín 760 01, Nad Ovčírnou I./1517

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MITÁČEK, M. *Robotizované pracoviště pro umělecké řezbářství: diplomová práce*. Ostrava: VŠB–Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robotiky, 2020, 109 s. Vedoucí práce: Krys, V.

Diplomová práce se zabývá řešením robotizovaného pracoviště pro umělecké řezbářství. V úvodu je pomocí rešerší podobných pracovišť, analýz dostupných technických prostředků a softwarového zajištění vytvořen požadavkový list. Na základě požadavkového listu je proveden návrh řešení se třemi možnými variantami. Z těchto navržených variant je následně vybrána nejvhodnější varianta, která je rozpracována do detailního návrhu, včetně konstrukce, rozměrových schémat, technicko-ekonomického zhodnocení. Pracoviště je tvořeno průmyslovým robotem s frézovací hlavou, polohovacím zařízením a dalším příslušenstvím. Součástí pracoviště je i software pro kreativní tvorbu 3D modelu, skener se softwarem pro zpracování polotovaru a skutečného modelu do digitální podoby a dále pak CAD/CAM systém pro generování drah nástroje i pro samotné řízení robotu.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

MITÁČEK, M. *A Robotic Cell for Artistic Carving: Master Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2020, 109 p. Thesis head: Krys, V.

The diploma thesis deals with the solution of a robotic cell for artistic carving. In the introduction, a requirement sheet is created by means of research of similar workplaces, analyses of available technical means and software assurance. On the basis of the requirement sheet, a suggested solution is made of three possible variants. From these proposed variants is selected the most suitable one, which is elaborated into a detailed design, including design, dimensional schemes, technical-economic evaluation. The workplace consists of an industrial robot with a milling head, positioning device and other accessories. The robotic cell also includes software for creative creation of a 3D model, a scanner with software for processing the semi-finished product and a real model into digital form, as well as a CAD/CAM system for generating toolpaths and also for controlling the robot itself.

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval za vysoce kvalifikovanou a odbornou pomoc svému vedoucímu práce panu Ing. Václavu Krysovi Ph.D., který mne vedl nejen koncepčně, ale hlavně měl velmi cílené a konstruktivní připomínky a dovedl vysvětlit důležité body práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem vyučujícím Katedry Robotiky, pod vedením profesora Dr. Ing. Petra Nováka, kteří mne dostatečně připravili na to, abych tak náročnou práci, jakou Diplomová práce je, zvládl vytvořit.

Poděkování si zaslouží i má rodina, která mi umožnila věnovat se studiu a měla trpělivost v době, kdy se nahrnuly pracovní i školní povinnosti a ukrojily mi drahocenný čas.



# Obsah

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>11</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>13</b>
<b>Seznam vzorců.....</b>	<b>13</b>
<b>Slovník termínu, použitých značek a symbolů .....</b>	<b>14</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>15</b>
<b>1 Formulace úlohy .....</b>	<b>17</b>
1.1 Cíl práce.....	17
1.2 Popis aplikační oblasti .....	17
1.3 Specifikace hlavních funkcí automatizovaného pracoviště.....	18
1.4 Hrubý koncept pracoviště:.....	18
1.4.1 Definice prostoru pracoviště .....	18
1.4.2 Předběžné požadavky na pracoviště .....	18
1.4.3 Portfolio operací, workflow – logistika pracoviště.....	19
<b>2 Analýza technologických a SW nástrojů pro zajištění funkčnosti pracoviště... 21</b>	<b>21</b>
2.1 Rešerše podobných realizovaných pracovišť .....	21
2.2 Analýza dostupných technických prostředků .....	26
2.2.1 Analýza SW zajištění funkčnosti robotizovaného pracoviště.....	27
2.2.2 Analýza nástrojů na skenování a SW zajištění při tvorbě 3D modelu.....	29
2.3 Analýza průmyslových robotů pro frézování .....	37
2.3.1 Robot ABB typ IRB 6700-155/2.85 .....	37
2.3.2 KUKA typ R2700-2/KR 150 .....	38
2.3.3 FANUC R2000iC/165F .....	39
2.3.4 YASKAWA GP180 .....	40
2.3.5 Porovnání základních parametrů vybraných průmyslových robotů .....	41
<b>3 Požadavkový list .....</b>	<b>42</b>
3.1 Soupis základních požadavků.....	42
3.1.1 Materiál pro výrobu a tok materiálu výrobou .....	42
3.1.2 Použitá technologie i s potřebnými nástroji a periferiemi .....	44
3.1.3 Prostředky pro návrh výrobku a řízení procesu výroby (TPV).....	50
3.1.4 Prostor pro umístění pracoviště .....	51
3.1.5 Bezpečnost a normy .....	52
3.2 Finální požadavkový list.....	54

<b>4</b>	<b>Návrh řešení.....</b>	<b>57</b>
4.1	Hrubý popis obchodního modelu .....	57
4.1.1	Typy výrobků.....	58
4.1.2	Procesy obchodního modelu .....	59
4.1.3	Materiálový tok.....	60
4.1.4	Časy procesů .....	61
4.1.5	Pracovníci obchodní jednotky.....	61
4.2	Koncepce navrženého pracoviště .....	63
4.2.1	Návrh prostorů .....	63
4.2.2	Navržené technologie a příslušenství.....	66
4.2.3	Shrnutí koncepce navrženého pracoviště.....	68
4.3	Logika a časový sled operací navrhovaného pracoviště.....	68
4.3.1	Předvýrobní proces – návrh modelu a řízení drah obrábění .....	69
4.3.2	Manipulační, skladovací a výrobní proces.....	70
4.4	Navržené technologie .....	72
4.4.1	Robot.....	72
4.4.2	Frézovací vřeteno.....	73
4.4.3	Dokovací stanice pro nástroje.....	74
4.4.4	Polohovadlo .....	76
4.4.5	Manipulační zařízení.....	82
4.4.6	Bezpečnost .....	83
4.5	Varianty návrhu řešení .....	83
4.5.1	Varianta A.....	84
4.5.2	Varianta B .....	85
4.5.3	Varianta C .....	87
4.5.4	Cenová kalkulace všech variant pracoviště .....	88
4.5.5	Vzájemné posouzení variant a volba řešení výrobního prostoru .....	91
4.6	Výběr variant opcí .....	92
<b>5</b>	<b>Detailní návrh vybraného pracoviště .....</b>	<b>94</b>
5.1	Konstrukce pracoviště .....	94
5.1.1	3D model.....	94
5.1.2	Layouty a rozměrová schémata pracoviště .....	97
5.2	Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého pracoviště .....	100

5.2.1	Předpoklady realizace .....	100
5.2.2	Výpočet hodinové sazby pracoviště a doba návratnosti investic.....	101
5.2.3	Ekonomika provozu obchodní jednotky .....	101
5.2.4	Rizika realizace .....	103
<b>Závěr .....</b>		<b>105</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>		<b>107</b>
<b>Přílohy .....</b>		<b>110</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1 Obrábění sochy Panenky Marie .....	21
Obr. 2 Výroba kašny Syenit .....	21
Obr. 3 Výroba modelu z robotické pěny Hotwire .....	22
Obr. 4 Bysta ženy obráběná robotem .....	22
Obr. 5 Opracování kamene výkonným systémem od firmy Transformer .....	23
Obr. 6 Robot FANUC M-900iB / 700 .....	23
Obr. 7 Frézovaná socha hlavy koně ze dřeva .....	24
Obr. 8 Robotické sochařství ze stromu .....	24
Obr. 9 Frézování dřevěné vany .....	24
Obr. 10 Frézování do dřeva pomocí robota a CAD/CAM programu SprutCAM .....	25
Obr. 11 Frézování schodiště pomocí CAD/CAM systému Robotmaster .....	25
Obr. 12 Robotické pracoviště IMV Design .....	26
Obr. 13 HandySCAN 3D Black .....	29
Obr. 14 MetraSCAN 3D .....	32
Obr. 15 Go!SCAN 3D .....	32
Obr. 16 Haptické zařízení Geomagic .....	36
Obr. 17 Robot ABB typ IRB 6700-155/2.85 .....	37
Obr. 18 Robot KUKA typ R2700-2/KR 150 .....	38
Obr. 19 Robot FANUC typ R2000iC/165F .....	39
Obr. 20 Robot YASKAWA typ GP180 .....	40
Obr. 21 Schéma a parametry pro řezné nástroje .....	45
Obr. 22 Spirálová falcovací fréza s VBD - CNC 80x81,4x30 16+2 .....	47
Obr. 23 Kulová fréza modelářská SK R20 40x60/160 d=25 mm .....	48
Obr. 24 Držák nástrojů HSK 63-F .....	50
Obr. 25 Návrh koncepce pracoviště.....	63
Obr. 26 Návrh prostoru přípravy a skladování .....	64
Obr. 27 Návrh výrobního prostoru .....	64
Obr. 28 Návrh prostoru TVP .....	65
Obr. 29 Návrh prostoru pro skenování, kontrolu a dodělávky .....	65
Obr. 30 Prostor skladování hotových výrobků .....	66

---

Obr. 31 průmyslový robot s frézovací hlavou .....	66
Obr. 32 Schéma řízení robota .....	69
Obr. 33 Schéma návrhu modelu až realizaci .....	71
Obr. 34 Řídící jednotka R-30iB Plus .....	73
Obr. 35 Graf výkonu vřetene v závislosti na otáčkách .....	74
Obr. 36 Frézovací vřeteno typ XLHS 130 (A102) .....	74
Obr. 37 Komponenty dokovací stanice výměny nástrojů .....	75
Obr. 38 Celkový návrh dokovací stanice pro automatickou výměnu nástrojů .....	75
Obr. 39 Jednoosé polohovadlo .....	76
Obr. 40 Základní rozměry polohovadla. ....	77
Obr. 41 možnost natočení osy u jednoosého polohovadla .....	77
Obr. 42 Závislost nosnosti jednoosého polohovadla na vychýlení těžiště .....	78
Obr. 43 Dvouosé polohovadlo .....	79
Obr. 44 Rozměry dvouosého polohovadla .....	79
Obr. 45 Možnosti natočení externích os u dvouosého polohovadla .....	79
Obr. 46 Závislost nosnosti dvouosého polohovadla na vychýlení těžiště .....	80
Obr. 47 Indexovaný otočný stůl .....	81
Obr. 48 Upínací deska v 3D.....	81
Obr. 49 základní rozměry upínací desky .....	82
Obr. 50 Vysokozdvíhový vozík .....	82
Obr. 51 Sestava stůl, dvouosé polohovadlo, deska.....	84
Obr. 52 Koncepce varianty A .....	85
Obr. 53 Sestava stůl, jednoosé polohovadlo, deska.....	86
Obr. 54 Koncepce varianty B .....	87
Obr. 55 Sestava stůl, indexované polohovadlo, deska.....	87
Obr. 56 Koncepce varianty C .....	88
Obr. 57 Navržený 3D model vybraného výrobního pracoviště .....	95
Obr. 58 Navržený 3D model vstupního a výstupního skladu .....	95
Obr. 59 Navržený 3D model pracoviště TPV a kontroly .....	96
Obr. 60 Navržený 3D model prostoru komunikačních cest.....	96
Obr. 61 Navržený 3D model celkového uspořádání všech pracovišť .....	97
Obr. 62 Půdorys celého pracoviště .....	98

---

---

Obr. 63 půdorys výrobního pracoviště s kótami.....	99
Obr. 64 Minimální a maximální poloha robotu při frézování.....	99
Obr. 65 Návrh jednoosého polohovadla s upínací deskou.....	100

## Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry přístrojů HandySCAN .....	30
Tab. 2 Parametry přístrojů MetroSCAN .....	31
Tab. 3 Parametry přístrojů Go!SCAN .....	33
Tab. 4 Parametry robotu ABB typ IRB 6700-155/2.85 .....	38
Tab. 5 Parametry Robotu KUKA typ R2700-2/KR 150 .....	39
Tab. 6 Parametry robotu FANUC typ R2000iC/165F .....	40
Tab. 7 Parametry robotu YASKAWA typ GP180 .....	41
Tab. 8 Shrnutí parametrů průmyslových robotů.....	41
Tab. 9 Výpočet pro spirálovou falcovací frézu s VBD - CNC 80x81,4x30 16+2 .....	48
Tab. 10 Výpočet pro frézu kulovou modelářská SK R20 40x60/160 d=25 mm .....	49
Tab. 11 Finální požadavkový list.....	54
Tab. 12 Parametry vřetene XLHS 130 (A102) .....	73
Tab. 13 Přípustný moment zatížení a setrvačnosti u dvouosého polohovadla .....	80
Tab. 14 Investiční náklady jednotlivých variant.....	89
Tab. 15 Výpočet prodejní ceny výrobku .....	102
Tab. 16 Výkaz měsíčních tržeb a nákladů obchodní jednotky .....	103

## Seznam vzorců

(1) Výpočet otáček.....	46
(2) Výpočet řezné rychlosti.....	46
(3) Výpočet rychlosti posuvu.....	46
(4) Výpočet posuvu na zub .....	46
(5) Výpočet objemu materiálu za jednotku času .....	46
(6) Výpočet příkonu.....	46
(7) Výpočet střední tloušťky třísky.....	46
(8) Výpočet specifické řezné síly.....	46

---

## Slovník termínu, použitých značek a symbolů

**Automotive** jde o výrobky, organizace a podniky, jejichž náplní je návrh, vývoj, dodávky a subdodávky součástí, výroba a prodej motorových vozidel a náhradních dílů. Tedy vše pro automobilový průmysl.

**CAD systém** je počítačem podporované navrhování objektů pro strojírenství, architekturu nebo speciální vědecké aplikace.

**CAM systém** je software pro obrábění řízené počítačem.

**CAD/CAM systém** je integrovaný systém využívající jednotky CAD a CAM systému.

**Haptická zařízení** jsou hmatová zařízení.

**„Home“ poloha** je poloha k zaparkování technologie.

**Modurit** je název modelovací hmoty vyrobené na bázi polymeru, která má široké použití v průmyslu, ve zdravotnictví, designu a uměleckých odvětvích, a také v tvořivých činnostech různého charakteru. Jedná se o polotuhou hmotu bílé barvy, která je plastická a snadno se tvaruje.

**PC** je osobní počítač, numericky řízený přístroj.

**Polystyren** je pevný materiál, snadno lámavý a levný plast. Používá se k výrobě modelů, vyložených tašek, nebo obalů.

**Renderovací nástroje** vytváří kvalitní vizualizaci.

**Skener** je hardwarové vstupní zařízení umožňující převedení fyzické 2D nebo 3D předlohy do digitální podoby pro další využití.

**SW (software)** je počítačový systém, tedy sada počítačových programů používaných v počítači, které provádějí nějakou systémovou činnost.

**TPV** je technická příprava výroby zahrnujeme technologickou a konstrukční přípravu výroby, stojí na samém začátku výrobního procesu.

**Umělá inteligence** je obor, který se zabývá stroji, které vykazují známky inteligentního chování.

## Úvod

Průmyslové roboty a robotizovaná pracoviště jsou v současné době již nedílnou součástí všech oborů průmyslu. A začínají se prosazovat i mimo standardní výrobní aplikace. Slouží totiž nejen pro vyšší automatizaci výrobního procesu, a tím pádem i zefektivnění a zvýšení výkonnosti opakujících se operací v jednotlivých firmách, ale využívají se i další výhody robotů, například vyšší fyzické dispozice a schopnosti, než může zvládnout lidská síla, a také lepší senzorické vlastnosti u příslušenství robotů. Důležitým, možná i rozhodujícím parametrem pro využití robotů mimo průmysl a velkosériovou výrobu, jsou i stále sofistikovanější řídicí systémy a softwary (dále jen SW), některé dokonce s uplatněním umělé inteligence. Proto robotizace začíná pronikat i do oborů, u kterých se s podobnými technologiemi v minulosti vůbec nepočítalo.

Prudký rozvoj odvětví robotizace, pramenící z potřeby automatizovat opakující se operace i celé procesy, odstartovala hromadná, či velkosériová výroba. Proto bylo možné robotizovaná pracoviště nalézt nejčastěji v automobilovém průmyslu. Zde se v plném rozsahu projeví výhody, a to nejen ekonomické, ale i kvalitativní a personální. Současný vývoj a trend však již nahrává využití robotizovaných pracovišť i v menších firmách, které automatizují procesy, kde se do nedávna bez lidské práce neobešli.

Vývoj robotizace však také naznačuje využití robotů nejen ve velkosériové výrobě průmyslu. V současné době to není jen průmysl, kde je umožněno nasadit automatizaci a robotizaci. Robotické systémy již pracují například ve zdravotnictví, zemědělství, potravinářství, ve vojenské technice, v dopravě, či dokonce i při zachraňování lidských životů a materiálních statků při různých katastrofách. A nebyla ušetřena ani umělecká, designová sféra a zábavní průmysl.

Ve své práci jsem se zaměřil na jednu, robotizací teprve objevovanou stránku, tedy uměleckou. Umělecké dílo jako takové potřebuje ke své realizaci mít tvůrčí myšlení, spousty uměleckého citění a také kreativitu. Umělci přetváří svůj nápad do formy ztvárnění, či zhmotnění, ať už je to obraz, socha, architektonický komplex, nebo jednoduše i hudební dílo, nebo film. A ač se to zdá na první pohled zvláštní, může se i tato umělecká sféra skloubit umělecký potenciál a tvořivou práci s nejmodernější technikou a technologií. A vzájemnou spoluprací pak vytvářet díla vysoké umělecké hodnoty. Navíc u této spolupráce umělci odpadá namáhavá a zdoluhavá práce při vlastní realizaci díla a umělec se pak více může soustředit na samotný výsledek. O jeho výkonnosti ani nemluvě. Jedinečnost díla umělce však také závisí



na její originalitě, což může být nevýhodou použití robotizovaného pracoviště, které může vést ke komercionalizaci, či zneužití duševního vlastnictví jednotlivých umělců.

Řezbářské řemeslo má v našich končinách dlouholetou tradici. Lidé si pro radost dělali, nebo nechali dělat, nádherné ornamenty, nábytek, sochy, či dokonce sousoší z dostupného materiálu, tedy ze dřeva. Tato umělecká díla vznikala dlouhou procedurou postupného dlabání a zabrušování díla do určeného tvaru. Řezbář musel dbát jednak na to, aby nejen správně zachytil tvar, ale také na to, aby neubral materiál z místa, kde už jej nelze nahradit a tím i přes namáhavou práci a spoustě ztraceného času celé toto dílo pokazit.

Moderní technologie v tomto směru mohou být významným pomocníkem a přenechají tvrdou práci technologii a o to víc se umělec může věnovat samostatné tvůrčí práci.

Další možnosti využití takovéhoho pracoviště je možnost výroby duplikátů, a to jak uměleckých děl, tak například ozdobných prvků na dřevostavbách. Současná technika umožňuje objekt naskenovat, opravit případné poškození v digitálním modelu a vytvořit přesnou kopii. Jde o proces rychlejší a přesnější než stávající ruční metody.

Diplomová práce je rozdělena do pěti kapitol. Po úvodu, který se zabývá průnikem do problematiky je v první kapitole formulována úloha včetně stanovení cílů práce, popisu aplikačních oblastí, specifikace hlavních funkcí robotizovaného pracoviště a nastínění hrubého konceptu pracoviště. Ve druhé kapitole je pak provedena analýza podobných pracovišť, analýza dostupných prostředků a softwarového zajištění. Ve třetí kapitole je provedeno shrnutí všech požadavků na návrh robotizovaného pracoviště a vytvořen konečný požadavkový list. Na základě tohoto požadavkového listu je následně ve čtvrté kapitole proveden návrh řešení se třemi možnými variantami. Z těchto navržených variant je vybrána nejvhodnější varianta, která je rozpracována v páté kapitole do detailního návrhu, včetně konstrukce, rozměrových schémat, technicko-ekonomického zhodnocení. V závěru je pak provedeno zhodnocení pracoviště a diplomové práce.

# 1 Formulace úlohy

V této kapitole bude jasně definován cíl práce a dále pak stanoveny podmínky, které budou sloužit jako základní stavební kámen k navržení robotizovaného pracoviště. Tyto podmínky jsou formulovány v bodech jako popis aplikační oblasti, specializace hlavních funkcí automatizovaného pracoviště a hrubý koncept pracoviště. Podrobné prostudování těchto podmínek bude velmi důležité pro následné návrhy robotizovaného pracoviště.

## 1.1 Cíl práce

Cíl práce lze rozdělit na hlavní cíl a pak vedlejší cíle.

### Hlavní cíl:

**Hlavním cílem této práce je navrhnout robotizované pracoviště k obrábění lehce obrobitelných materiálů (například dřeva) s využitím robotu s frézovací hlavou, které bude sloužit k umělecké a tvůrčí činnosti.**

Hlavní cíl práce je doplněn ještě o vedlejší cíle, které slouží k upřesnění základního cíle a k rozšíření o jednotlivá specifika.

### Vedlejší cíle:

Vedlejší cíle práce jsou:

- Vyhledání a navržení vhodných technologií a technických a bezpečnostních prostředků pracoviště.
- Vyhledání a navržení SW prostředků pro umělecké ztvárnění myšlenky umělce, či designera (zhotovení modelu), a SW pro výpočet a návrh drah obrábění, včetně samotného řízení robota při realizaci díla.
- Zhodnocení reálnosti navrženého pracoviště a posouzení ekonomické smysluplnosti navrženého pracoviště.

## 1.2 Popis aplikační oblasti

Pracoviště by mělo splňovat podmínky k obrábění polotovarů větších rozměrů, které nejdou opracovat na běžných komerčních CNC frézkách, jak z důvodu své velikosti, tak i z důvodu nebezpečí zanesení či zničení funkčních částí stroje od zbytků obrobeného materiálu. Navíc by toto robotizované pracoviště mělo usnadnit obrábění i těch nejsložitějších křivek na povrchu obrobku tím, že bude mít možnost natočit frézovací hlavu do jakékoliv pozice, tedy

pomocí využití zařízení s větším počtem stupňů volnosti, než bývá v obráběcích centrech běžné.

### 1.3 Specifikace hlavních funkcí automatizovaného pracoviště.

Hlavní funkcí robotizovaného pracoviště je odstranit těžkou namáhavou práci umělce a možnost zajištění jiného způsobu ztvárnění a zhmotnění jeho představ, a to pomocí moderní techniky a technologie. Doplňkovou funkcí je pak zproduktivnění práce umělce a tím možnost jeho vyšší výkonnosti. Využití těchto moderních prostředků je i základem pro zkvalitnění opracování a zpřesnění tvarů vlastního návrhu než při klasické tvorbě. Neopomenutelnou výhodou je i to, že téměř nehrozí nebezpečí, že se dílo při vlastní realizaci nezničí chybou, či omylem umělce.

### 1.4 Hrubý koncept pracoviště:

Pracoviště bude sloužit k obrábění lehce obrobitelných materiálů, především pak pro práci se dřevem. Jako polotovar bude sloužit rozřezaný kmen zbavený kůry, vysušený minimálně na 20 % suchosti, aby nedocházelo při pozdějším schnutí k prasklinám u hotového díla. Kromě zpracování dřeva je možnost obrábět také další lehce obrobitelné materiály, jako například umělé dřevo, polystyren, modurit, případně další podobné materiály.

#### 1.4.1 Definice prostoru pracoviště

Samotné pracoviště se bude skládat z těchto základních částí (sekcí):

- sklad polotovarů,
- manipulační prostor a prostor pro přípravu polotovarů,
- výrobní prostor s průmyslovým robotem,
- velín,
- sklad hotových výrobků.

Všechny prostory budou navrhovány s dostatečnou pracovní a manipulační plochou a se zabezpečením odpovídajícím předpisům bezpečnosti práce a protipožárními opatřeními.

#### 1.4.2 Předběžné požadavky na pracoviště

Pro správnost navržení funkčního celku musí pracoviště a technologie splňovat následující požadavky. Je potřeba navrhnout:

- takový typ robotu, který bude mít dostatečnou tuhost pro frézování a bude schopen s tolerancí max. 0,5 mm vyfrézovat jakýkoliv navržený bod na povrchu polotovaru,

- rameno s frézovacím vřetenem tak, aby svou trajektorií koncového bodu dosáhlo do všech pozic polotovaru k možnosti obrábění,
- možnost automatické výměny nástrojů u frézovací hlavy,
- vhodný SW pro vytvoření a úpravy modelu,
- vhodný SW pro optimální výpočet řezných drah a samotné řízení robota,
- odsávací zařízení, které bude sloužit k odstranění třísek a pilin z pracovního prostoru robota,
- vhodné zabezpečení ochrany před vniknutím prachu abrazivních materiálů do funkčních částí robota,
- všechny bezpečnostní požadavky kladené na automatizovaná nebo robotizovaná pracoviště dle ČSN EN ISO 10218-2:2011,
- pracoviště, které bude splňovat optimální materiálový tok vstupních polotovarů k pracovišti a hotových výrobků z pracoviště a dostatečné skladové kapacity.

#### 1.4.3 Portfolio operací, workflow – logistika pracoviště

Celé pracoviště bude členěno do jednotlivých sekcí. Pracoviště se bude skládat z několika prostorů, kde bude probíhat jak příprava modelu, technologická příprava výroby (dále jen TPV), tak i prostor výrobní a také skladovací. Mezi jednotlivými prostory pracoviště je nutno mít i manipulační prostory, kudy projede paletový, nebo vysokozdvizný vozík a bude mít dostatečné místo k bezpečné manipulaci.

##### **Sekce skladování polotovarů**

Polotovar bude na pracoviště přivezen běžným způsobem dopravy. Samotná manipulace a skladování polotovarů bude prováděno vysokozdvizným vozíkem do připravených regálů. Pokud půjde o přírodní materiál, musí při naskladnění být již dostatečně vysušen, případně tvarově uzpůsoben potřebám (např. ořezán motorovou pilou na přibližný tvar). Tento sklad není zamýšlen jako sušička, nebo k dosušování materiálu, přesto zde musí být relativně konstantní teplota a vlhkostí maximálně 20 %.

##### **Sekce pro přípravu polotovarů**

Ze skladu polotovarů bude materiál převezen k předpřípravě. Zde se provede optická kontrola, případně ruční odstranění nevhodných přesahů. Polotovar tak bude připraven k přesunutí do výrobního prostoru.

### **Sekce výrobní prostor s robotem**

Do výrobního prostoru pak bude polotovar přemístěn pomocí vysoko zdvižného vozíku a ustaven na polohovací zařízení a zaměření. Následně po zabezpečení prostoru proti vstupu osob bude probíhat proces samotného obrábění, kdy bude polotovar obroben třískovým obráběním pomocí frézovací hlavy různých typů. K automatické výměně vhodných nástrojů pro frézování bude sloužit dokovací stanice. Samotné obrábění je předpokládáno v několika technologických krocích:

- hrubování - masivní odběr materiálu,
- dokončování - jemné dráhy s malým odběrem k dosažení požadovaného povrchu a přesnosti detailů.

Ze sekce velín bude robot, polohovací zařízení i samotná frézovací hlava řízena pomocí zvoleného SW pro automatické řízení drah nástroje. Po dokončení procesu (výstupem pak bude obrobený díl dle návrhu v odpovídající kvalitě) se robot přesune do výchozí „home“ polohy a budou odblokovány bezpečnostní prvky. Tím pádem bude možnost hotový obrobek z výrobního prostoru přesunout do skladu hotových výrobků.

### **Sekce velín**

Ze sekce velín bude probíhat samotné řízení robotu a dalších jeho periférií pomocí speciálního SW na bázi CAD/CAM pro optimální výpočet řezných drah a samotného řízení robotu. Navíc, nezávisle od procesu výroby a jeho řízení, bude probíhat příprava dalšího modelu dle požadavků pomocí vhodného SW pro vytváření a úpravy modelu. Pro CAD a přípravu bude místnost vybavena počítačem (dále jen PC) s odpovídajícím programovým vybavením, tak skenerem k možnosti skenování povrchů uměleckých děl. V této části bude možnost vytvářet i kopie vzácných děl, nebo prvků, které je třeba chránit. Dále zde bude možno skenovat polotovary, ze kterých se díla budou vyrábět pro prostorové porovnání a v neposlední řadě k zadání polotovaru do CAM systému, aby došlo ke sladění polotovaru i modelu a propojením byla dána možnost vygenerování řezných drah co nejekonomičtěji.

### **Sekce sklad hotových výrobků**

Sklad hotových výrobků bude sloužit k uskladnění již vyrobených výrobků. Manipulace bude pomocí vysoko zdvižného vozíku. Většina výrobků bude uložena na paletě pro lepší manipulaci při logistice. Jelikož díly musí před expedicí být zkontrolovány, případně doupraveny a zabaleny, musí zde být prostor pro kontrolu a expedici. Nepředpokládá se velký pohyb děl, jelikož samotný proces obrábění je časově náročný.

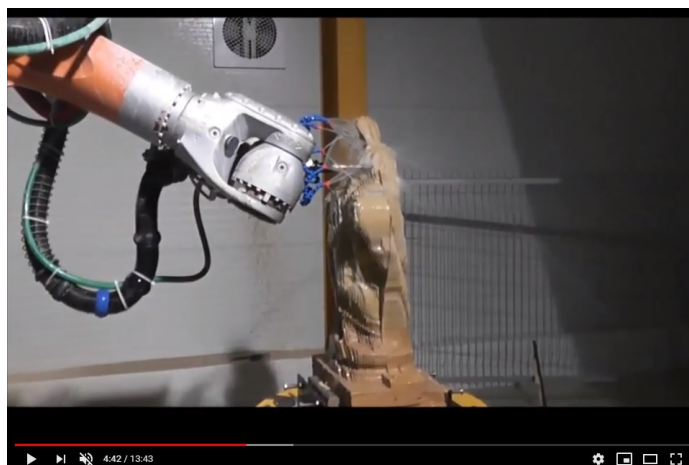
## 2 Analýza technologických a SW nástrojů pro zajištění funkčnosti pracoviště

Podrobná analýza využití stávajících robotických celků, jejich možností, různých mechanických komponentů, typů robotů a příslušenství, SW vybavení pomůže při vytváření návrhů robotizovaného pracoviště pro umělecké řezbářství pomocí robotu.

### 2.1 Rešerše podobných realizovaných pracovišť

Bylo již vytvořeno několik typů robotizovaných pracovišť pro obrábění různých materiálů pomocí průmyslových robotů, ale většinou se tato pracoviště věnovala jen výrobě modelů pro možnost dalšího ověřování funkcí modelu s využitím v automobilovém průmyslu. [1]

V současné době však již umělci a designéři na několika pracovištích využívají robotizované frézování k realizaci svých uměleckých představ, ale většinou používají jiné vstupní materiály, než je dřevo. Příklady jsou uvedené na Obr. 1 a Obr. 2.



Obr. 1 Obrábění sochy Panenky Marie [2]



Obr. 2 Výroba kašny Syenit [3]

V práci se dřevem se objevila jen nějaká pracoviště na výrobu moderních částí nábytku, jako například dřevěné vany a designová umyvadla.

Rozvoj frézování robotem se však postupně jako samostatná disciplína začíná čím dál více rozvíjet. Některé firmy pochopily výhody tohoto způsobu obrábění. Především u rozměrnějších polotovarů a u materiálů, jejichž prach by mohl destruktivněji působit na všechny funkční části frézovacího stroje. Rešerše jednotlivých videí ukazuje, co všechno a z jakých materiálů se dá již v současné době obrábět pomocí robota s frézovací hlavou. Příklady jsou uvedeny zde.

### **Obrábění hybridní robotické pěny Hotwire vhodné pro sochařství a modelování.**

Na Obr. č. 3 je na videu ukázáno, jak snadno lze tuto hmotu opracovávat pomocí robota a vytvořit model, který pak slouží pro další možné návrhy, třeba tvaru karoserie. [4]



Obr. 3 Výroba modelu z robotické pěny Hotwire [4]

### **Bysta krásné paní vyřezaná robotem přizpůsobeným na sochařská díla**

Na obr. č. 4 je ukázáno video, na kterém robotický frézovací systém postupně vyřezává sochu a je možno použít různé druhy materiálů, jako je kámen, pěna, termocol. [5]



Obr. 4 Bysta ženy obráběná robotem [5]

### **Obrábění kamene pomocí speciálního Transformer robota 6/7/8 osového**

Ukázkové video firmy Transformer, na kterém jsou zobrazeny ukázky pracoviště, postup operací a také možnosti snímání modelu pomocí skeneru a simulace pohybu robota. Velká pracovní kapacita pro skutečné výrobní centrum se svými 6 současně interpolovanými osami a



vysoce výkonným softwarem vyvinutým speciálně pro zpracování kamenů je THIBAUT TRANSFORMER, to je vysoce výkonný víceúčelový stroj, který umožňuje komplexní tvarování a leštění kamene. [6]

Ukázka je na videu na Obr. 5.



Obr. 5 Opracování kamene výkonným systémem od firmy Transformer [6]

### Robot pro vrtání a frézování - robot FANUC M-900iB / 700

Na Obr. 6 je ukázka videa, kde je představen nový robot Fanuc M-900iB vhodný pro vrtání a frézování. Svou tuhostí a pevností zajistí velmi přesné polohy, což je na přiloženém videu vidět. Roboty FANUC jsou ideální pro aplikace pro vrtání, broušení, odmašťování, frézování a ořezávání, které vyžadují vysokou přesnost. Takové aplikace potřebují řešení, kde robot udržuje svou polohu, takže se nepohybuje, když je aplikována síla. Je rozhodující, že robot zůstává během pohybu pevný. Nový robot FANUC M-900iB demonstruje své schopnosti v činnosti vrtání na části trupu letadla. Pro dokonalou přesnost a tuhost robota je k tomuto monitoru připojen laserový měřicí systém. Tento displej ukazuje, že při vrtání dochází k minimálnímu vychýlení. Tato ukázka také zobrazuje další výhodu sekundárních snímačů a software pro kompenzace vychylování pro extrémně přesné aplikace. Po výměně nástroje na odstraňování ořepů robot odbarvuje okna panelu pomocí cest, které byly vyvinuty zcela off-line pomocí funkce "CAD k cestě", která je k dispozici s programovým softwarem FANUC ROBOGUIDE. Dvojitá kontrolní bezpečnostní kontrola rychlosti a kontrola polohy jsou také použity v průběhu demonstrace, aby se omezil pohyb robota na přesnou oblast, ve které působí. [7]



Obr. 6 Robot FANUC M-900iB / 700 [7]



### Frézovaná socha hlavy koně pomocí robota

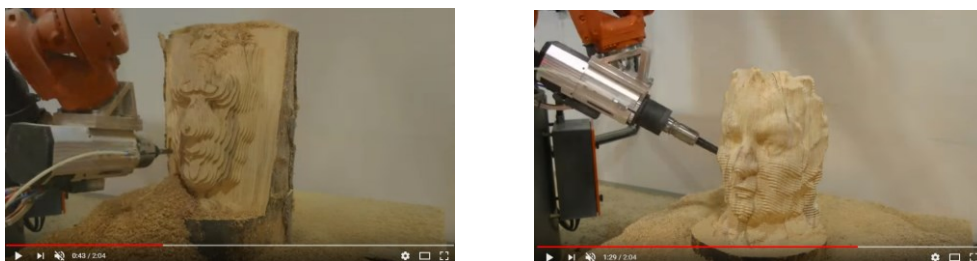
Video na Obr. 7 ukazuje výrobní proces obrábění dřeva robotem KUKA - KR150 a pomocí programového systému CAD/CAM SprutCAM. [8]



Obr. 7 Frézovaná socha hlavy koně ze dřeva [8]

### Robotické sochařství ze stromu

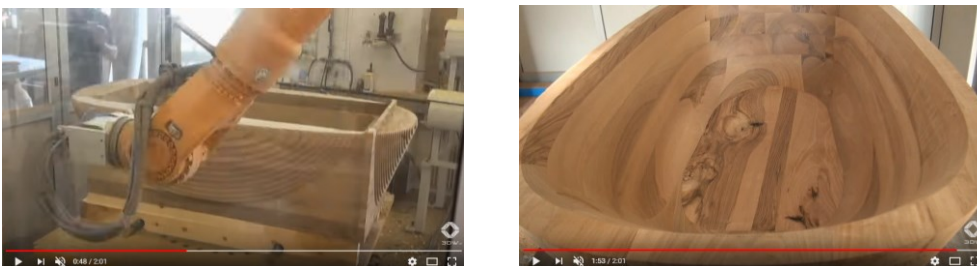
Na Obr. 8 je náhled videa, které ukazuje práci 6-osého robota Kuka KR-120, který frézováním mění kmen stromu v nádherné umělecké dílo. Použitý program pro řízení robota je MasterCAM X7 se systémem Robotmaster. Celkový čas výroby byl 8 hodin. Místo výroby je umístěno v Bristolu ve Velké Británii. [9]



Obr. 8 Robotické sochařství ze stromu [9]

### Zajímavá ukázka frézování do dřeva a výrobou dřevěné vany

Na videu v Obr. 9 je provedena ukázka frézování designové krásné vany navržené firmou Rowi Interiors. Nejtěžší a náročnější práce spočívá v profesionálním lepení dřeva, ale také hladké frézování pomocí robota. Různé ošetření laku dává dřevu intenzivnější barvu a dodatečně chrání dřevo před vodou. [10]



Obr. 9 Frézování dřevěné vany [10]

### Frézování do dřeva pomocí robota a CAD/CAM programu SprutCAM

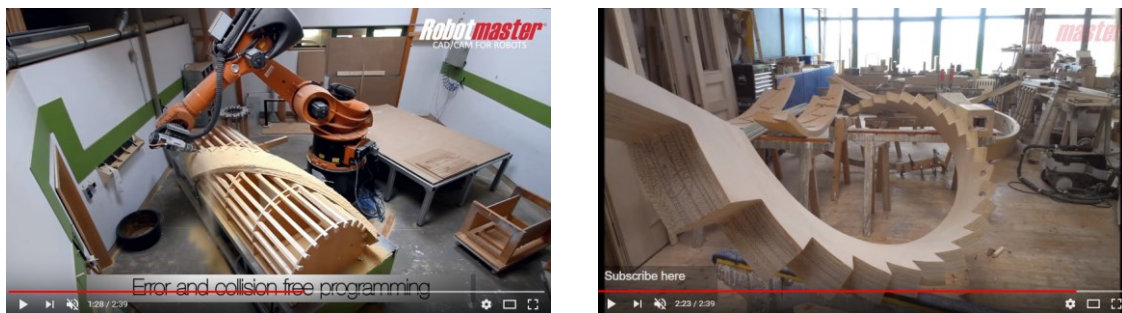
Na videu Obr. 10 je zachycen Robot Stäubli TX 200, který pomocí programu SprutCAM frézuje do dřeva postavu mladé ženy. K frézování bylo použito vřeteno Spindle 6 kW a otáčkách 5.000 ot/min. Rozměry výrobku:  $\varnothing$  600 mm x výška 2.000 mm. Toto video bylo prezentováno na veletrhu v Brně 2014 (Engineering Fair 2014). [11]



Obr. 10 Frézování do dřeva pomocí robota a CAD/CAM programu SprutCAM [11]

### Frézování dřevěného schodiště pomocí robota a CAD/CAM systému Robotmaster

Na Obr. 11 je vidět, co vše je možno ze dřeva pomocí robota (v tomto případě robot KUKA) a pomocí CAD/CAM systému Robotmaster udělat. Točité schodiště je, různě zakřivené je důkazem profesionálního programového zpracování drah koncového bodu robota. [12]

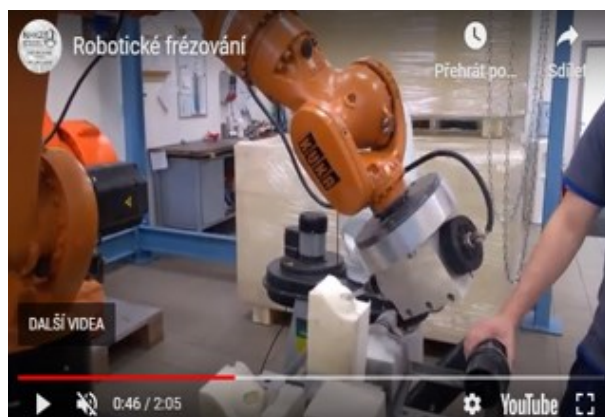


Obr. 11 Frézování schodiště pomocí CAD/CAM systému Robotmaster [12]

### Robotické frézování IMV Design

Kromě nasazení robotů jako obsluhy u obráběcího centra se setkáváme i s frézováním pomocí robota. Hlavní výhodou je možnost obrábět tvarově a rozměrově náročnější dílce. Frézovací hlava je umístěna na šesté ose robota. Velikost pracovní plochy je omezena pouze dosahem zvoleného robota. Tento rozměr je možné zvětšit díky použití lineárního pojezdu jako sedmé osy. Nejčastěji se setkáváme s obráběním plastů a kompozitních materiálů, dále to může být i dřevo, případně kovy a další. Časté využití je například v sochařství, ořezávání dílců, čištění, broušení a další. Zkuste nás oslovit se svým požadavkem a my navrhujeme vhodné technologické řešení pro Vaši aplikaci. [13]

Ukázka robotizovaného firmy IMV Design je na Obr. 12.



Obr. 12 Robotické pracoviště IMV Design [13]

## 2.2 Analýza dostupných technických prostředků

Princip frézování pomocí robota je podobný, jako u frézovacích center, jen s tím rozdílem, že je k dispozici více stupňů volnosti a také volný prostor pro frézování, tím pádem rozměry obrobku jsou limitovány jen dosahem ramene robota, který v návaznosti na možnost přidavných rotačních os je z hlediska obrábění velmi zajímavý. Výhodnější je i upevňování na úchytnou plochu, která může být v rovině a lépe dostupná (nevadí rám stroje), robot je zaparkován v nakládací, nebo „Home“ pozici mimo pracovní prostor stolu. Jediná nevýhoda je, že frézovací centrum je přeci jen tužší, má méně stupňů volnosti (větší počet kloubů robota) a tím pádem i přesnější. Takže pokud je potřeba frézovat výrobek s většími rozměry (především výškou) a nezáleží moc na strojírenské přesnosti, je robotické obrábění ta správná volba.

Důležitou podmínkou je i typ obráběného materiálu. Pro robotické obrábění se hodí lépe dobře opracovatelné materiály, jako jsou například kámen, dřevo, plasty, umělé dřevo, polystyren, hliník, mosaz a různé modelační materiály. Ocel a podobné materiály je z důvodu tuhosti a přesnosti vhodnější obrábění ve frézovacím centru.

V současné době jsou již všechny dostupné technologie a rychlé programové vybavení pro obrábění robotem a tím pádem se tento obor začíná postupně rozvíjet a využívat. Bohužel investiční náklady pro malosériovou, či dokonce kusovou výrobu jsou zatím hodně vysoké. Přesto lze tuto technologii využít, protože lze ušetřit spoustu času a také těžké lidské práce a kreativní pracovník tak má dostatek času na tvoření.

### 2.2.1 Analýza SW zajištění funkčnosti robotizovaného pracoviště

Zde je nejdůležitější otázkou zabezpečení programového vybavení jak pro tvorbu návrhu výrobku, tak i pro samotné řízení výrobního procesu.

Návrh výrobku je možné uskutečnit pomocí dvou metod:

1. Naskenování stávajícího tvaru
2. Modelování tvarů pomocí CAD systému.

Druhou část SW vybavení tvoří informace pro výběr vhodného programu pro samotné řízení pohybů obráběcího nástroje robota, znám jako CAM systém (Computer-aided manufacturing, česky Počítačová podpora obrábění). Zde je již výběr o poznání menší. Jako první na trhu použil pro CAM programování systém Robotmaster, který využil výpočtu drah pomocí CAD/CAM systému Mastercam a jako nadstavba byl schopen převést dráhy pro řízení robotu, včetně kontroly dosahů a singularit. V dnešní době se již jedná o samostatný produkt, bez nutnosti napojení na Mastercam. Další systémy na trhu vycházejí většinou ze stejné logiky, kdy v CAM systému jsou vypočteny trajektorie a nadstavba nad tímto CAM systémem zajistí převod do robotu.

#### **CAD/CAM software**

V současné době se nejvíce používají tyto typy CAD/CAM systémů:

- **Robotmaster,**
- **OCTOPUZ**
- **TEBIS**
- **SPRUTCAM Robots**
- **Siemens NX CAM - RobotExpert**

#### **Robotmaster**

Jako první na trhu použil pro CAM programování systém Robotmaster, který využil výpočtu drah pomocí CAD/CAM systému Mastercam a jako nadstavba byl schopen převést dráhy pro řízení robotu, včetně kontroly dosahů a singularity. V dnešní době se již jedná o samostatný produkt, bez nutnosti napojení na Mastercam. Může využívat jakýkoliv CAM systém pro výpočet i složité dráhy nástroje, využít i stávající CAM systém zákazníka. [14]

Robotmaster řeší potřeby široké škály výrobních aplikací s nástroji přizpůsobenými specifickým potřebám každého procesu a poskytuje intuitivní a automatizované programování

úkolů pro bezchybné výsledky, a to i bez odborných znalostí CAD/CAM, nebo robotiky. Doposud Robotmaster nebyl překonán jiným obdobným programem. Jeho hlavní výhodou je kompatibilita s různými typy robotů a rychlé a jednoduché ovládání softwaru. Vývojáři kladou velký důraz právě na jednoduchost. Naprogramování složité dráhy robota, u které plynule přejíždí a obrábí složité 3D modely, zabere velmi krátkou dobu. [14]

### **OCTOPUZ**

Program Octopuz byl vytvořen v roce 2013 s cílem oslovit zákazníky a uspokojit stále stoupající požadavky v robotickém průmyslu lidmi, kteří odešli z vývoje systému Robotmaster a založili konkurenční firmu. [15]

Dráhy nástroje se musí vytvořit v jiném CAM systému, posléze se načtou do systému Octopuz, kde se s nimi dále pracuje. Jeho výhodou je knihovna robotů a nástrojů, zákazník si udělá pracoviště sám. Program se na venek jeví více jako simulační, možnosti úpravy přejezdů a samotných drah jsou menší. [15]

### **TEBIS**

Tebis pro roboty je jako nadstavby nad Tebisem pro NC stroje. Umožňuje programovat roboty více značek i další přídatné osy. Určitou výhodou je napojení na CAD modul, který může být rozšířen o možnost reverzního inženýrství. [16]

### **SPRUTCAM Robots**

SPRUT CAM Robot vychází a je jako nadstavby nad CAM systémem SprutCAM, nepracuje samostatně. Dráhy jsou vypočítány v klasickém CAM systému a následně simulovány podobně jako klasické NC stroje. Tento systém neumí spolupracovat s daty vytvořenými v jiných CAM systémech. [17]

### **Siemens NX CAM – RobotExpert**

Siemens NX má modul i pro robotiku. Tento modul je vázaný pouze na CAM od Siemens. Umožňuje programovat roboty i s přídatnými osami. Výpočet drah vychází z CAM dráhy vypočítané podobně jako pro NC stroje. Siemens se snaží pokrýt celou škálu potřeb i velkých továren, tím pádem je modul začleněn do celkového řízení továrny. Má propracovanou simulaci i v napojení na další výrobu a tok materiálu. [18]

## 2.2.2 Analýza nástrojů na skenování a SW zajištění při tvorbě 3D modelu

### Nástroje na skenování

Skenování stávajícího tvaru je možno provést mnoha způsoby. Dotykovým snímáním, laserovým snímáním, nebo pomocí 3D kamerového systému a to jak v ručním režimu, tak v automatickém, kdy je zařízení umístěno například na robotu. [19]

V přenosných skenerech je poměrně veliký výběr, jak v kvalitě, tak ceně. Pro porovnání byly vybrány ruční skenery, které jsou na našem území hodně rozšířeny a mají i plnou podporu. Jedná se o skenery:

- HandySCAN
- MetraSCAN
- Go!SCAN

### **HandySCAN 3D Black**

Rychlý, přesný, přenosný a snadný na ovládání. HandySCAN3D nabízí bezkonkurenční rychlost se kterou snímá data s nejvyšší přesností. Díky schopnosti skenovat bez ohledu na změny prostředí, vibrace a pohyb dílů během skenování se jedná o ideální nástroj pro kontrolu kvality a reverzní inženýrství. [19]

Zobrazení je na Obr. 13.



Obr. 13 HandySCAN 3D Black [19]

V Tab. 1 jsou vypsány jednotlivé typy přístrojů HandySCAN a jejich parametry.

Tab. 1 Parametry přístrojů HandySCAN [19]

	HandySCAN 307™	HandySCAN BLACK™	HandySCAN BLACK™ ELITE
PŘESNOST (1)	od 0,040 mm	od 0,035 mm	od 0,025 mm
OBJEMOVÁ PŘESNOST (2)	0,020 mm + 0,100 mm/m	0,020 mm + 0,060 mm/m	0,020 mm + 0,040 mm/m
OBJEMOVÁ PŘESNOST při použití MaxSHOT Next™ Elite (3)	0,020 mm + 0,015 mm/m		
MĚŘÍCÍ ROZLIŠENÍ	0,100 mm	0,025 mm	
ROZLIŠENÍ POLYGONOVÉ SÍTĚ	0,200 mm	0,100 mm	
FREKVENCE MĚŘENÍ	480 000 měření/s	800 000 měření/s	1 300 000 měření/s
ZDROJ SVĚTLA	7 červených laserových křížů	7 modrých laserových křížů	11 modrých laserových křížů (+ 1 extra linie pro dutiny)
TŘÍDA LASERU	2M (bezpečný pro oči)		
SKENOVACÍ ROZSAH	275 x 250 mm	310 x 350 mm	
VZDÁLENOST SKENERU OD OBJEKTU	300 mm		
HLOUBKA OSTROSTI	250 mm		
VELIKOST DÍLU (doporučená hodnota)	0,1 – 4 m	0,05 – 4 m	
SOFTWARE	Vxelements		
VÝSTUPNÍ FORMÁTY	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf		
KOMPATIBILNÍ SOFTWARE	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault (CATIA V5 and SOLIDWORKS), PTC (Creo), Siemens (NX and Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage)		
VÁHA	0.85 kg	0,94 kg	
ROZMĚRY (DxŠxV)	77 x 122 x 294 mm	79 x 142 x 288 mm	
PŘIPOJENÍ DO PC	1 X USB 3.0		
PRACOVNÍ TEPLOTA	5–40 °C		
PRACOVNÍ VLHKOST (bez kondenzace)	10–90 %		
CERTIFIKACE	EC Compliance (Electromagnetic Compatibility Directive, Low Voltage Directive), compatible with rechargeable batteries (when applicable), IP50, WEEE		
PATENTY	CA 2,600,926, CN 200680014069.3, US 7,912,673, CA 2,656,163, EP (FR, UK, DE) 1,877,726, AU 2006222458, US 8,032,327, JP 4,871,352, US 8,140,295, EP (FR, UK, DE) 2,278,271, EP (FR, UK, DE) 2,230,482, IN 266,573, US 7,487,063, CA 2,529,044, EP (FR, UK, DE) 3,102,908, US 15/114,563, CN 201580007340X		



**MetraSCAN 3D**

MetraSCAN 3D je optický volně pohyblivý skener CMM, který je v současné době nejpresnější systém v této kategorii systémů pro 3D skenování. Řešení MetraSCAN lze používat v jakémkoliv pracovním prostředí, např. v laboratoři, v dílně, venku atd. Umožňuje bezproblémové skenování barevných, černých i lesklých povrchů bez nutnosti tyto povrchy zmatňovat, nebo sprejovat na bílo. Tento sken je možno umístit i na robot, zda ale potom je nutno programovat dráhy robotu pro každé skenování. Při polotovarech, které mohou být různých tvarů je celkem zdoluhavé. V Tab. 2 jsou vypsány jednotlivé typy přístrojů MetraSCAN a jejich parametry. [19]

Tab. 2 Parametry přístrojů MetroSCAN [19]

		MetraSCAN 350™	MetraSCAN 350™ Elite	MetraSCAN 750™	MetraSCAN 750™ Elite
Hmotnost:		1,38 kg			
Přesnost:		od 0.040 mm		od 0.030 mm	
Objemová přesnost:	9.1 m³	0.086 mm	0.064 mm	0.086 mm	0.064 mm
	16.6 m³	0.122 mm	0.078 mm	0.122 mm	0.078 mm
Rozlišení:		0.2 mm, softwarově lze snížit na 0.05 mm			
Rychlost měření:		205 000 měření / sekundu		480 000 měření / sekundu	
Oblast skenování:		225 x 250 mm		275 x 250 mm	
Laserové kříže:		3 laserové kříže		7 laserových křížů + 1 čára pro hůře dostupné oblasti	
Třída laseru:		třída II. (bezpečné pro oči)			
Velikost hlavy:		289 x 235 x 296 mm			
Připojení:		1 x USB 3			
Software:		VXelements™			
Výstupní formáty:		.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr			
Rozsah pracovní teploty:		5-40 °C			
Rozsah vlhkosti v pracovním prostředí:		10-90 %			
Certifikace:		EC Compliance (Electromagnetic Compatibility Directive, Low Voltage Directive, RoHS 2, Substance Restrictions Directive), IP50, WEEE			



Zobrazení skeneru MetraSCAN je provedeno na Obr. 14



Obr. 14 MetraSCAN 3D [19]

### **Go!SCAN SPARK**

Go!SCAN 3D™ dokáže velmi rychle nasnímat komplexní tvary bez složitější přípravy. S přímou integrací do 3D modelovacích programů a pracovního postupu správy životního cyklu produktu, značně zlepší vývoj produktů, podpoří inovace a zkrátí dobu uvedení nových produktů na trh. Je navržen tak, aby skenoval jakýkoliv objekt bez nutnosti složitějšího nastavení. Nabízí bezchybné zachycení geometrie a textury s působivými detaily v bohaté paletě barev. Jednoduše .... přijít, namířit a skenovat! [19]

Zobrazení je na Obr. 15.



Obr. 15 Go!SCAN 3D [19]

V Tab. 3 jsou vypsané jednotlivé typy přístrojů Go!SCAN 3D a jejich parametry

Tab. 3 Parametry přístrojů Go!SCAN [19]

	<b>Go!SCAN SPARK™</b>
<b>PŘESNOST (1)</b>	od 0,050 mm
<b>OBJEMOVÁ PŘESNOST (2)</b>	0,050 mm + 0,150 mm/m
<b>OBJEMOVÁ PŘESNOST při použití MaxSHOT Next™ Elite (3)</b>	0,050 mm + 0,015 mm/m
<b>MĚŘICÍ ROZLIŠENÍ</b>	0,100 mm
<b>ROZLIŠENÍ POLYGONOVÉ SÍTĚ</b>	0,200 mm
<b>FREKVENCE MĚŘENÍ</b>	1 500 000 měření/s
<b>ZDROJ SVĚTLA</b>	Bílé světlo (99 pruhů)
<b>METODY POZICOVÁNÍ</b>	Geometrie a/nebo textura a/nebo poziční značky
<b>SKENOVACÍ ROZSAH</b>	390 x 390 mm
<b>VZDÁLENOST SKENERU OD OBJEKTU</b>	400 mm
<b>HLOUBKA OSTROTI</b>	300 mm
<b>VELIKOST DÍLU (doporučená hodnota)</b>	0,1 – 4 m
<b>ROZLIŠENÍ TEXTURY</b>	50 až 200 DPI
<b>BARVY TEXTURY</b>	24 bit
<b>SOFTWARE</b>	Vxelements
<b>VÝSTUPNÍ FORMÁTY</b>	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr, .3mf
<b>KOMPATIBILNÍ SOFTWARE</b>	3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (PolyWorks), Dassault (CATIA V5 and SOLIDWORKS), PTC (Creo), Siemens (NX and Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage)
<b>VÁHA</b>	1,25 kg
<b>ROZMĚRY (DxŠxV)</b>	89 x 114 x 346 mm
<b>PŘIPOJENÍ K PC</b>	1 X USB 3.0
<b>PRACOVNÍ TEPLOTA</b>	5–40°C
<b>PRACOVNÍ VLHKOST (bez kondenzace)</b>	10–90%
<b>CERTIFIKACE</b>	EC Compliance (Electromagnetic Compatibility Directive, Low Voltage Directive), compatible with rechargeable batteries (when applicable), IP50, WEEE
<b>PATENTY</b>	CA 2,600,926, CN 200680014069.3, US 7,912,673, CA 2,656,163, EP (FR, UK, DE) 1,877,726, AU 2006222458, US 8,032,327, JP 4,871,352, US 8,140,295, EP (FR, UK, DE) 2,278,271, EP (FR, UK, DE) 2,230,482, IN 266,573, US 7,487,063, CA 2,529,044, EP (FR, UK, DE) 3,102,908, US 15/114,563, CN 201580007340X

### **SW nástroje pro sken a zpracování dat**

Důležitou součástí skenerů je software, který převede soustavu 3D naskenovaných bodů do ploch, nebo 3D modelů pro další zpracování v CAD, nebo CAM systémech. [20]

Ve výběru jsou k porovnání tyto 3 druhy SW pro sken a zpracování dat:

- PolyWorks Modeler,
- VXmodel,
- Geomagic for SolidWorks.

#### **PolyWorks Modeler™**

Jde o celosvětově preferovaný automobilovými designérskými studiemi. Jedná se o jediné softwarové řešení, které demonstruje schopnost tvorby polygonálních modelů třídy A pro přísné polygonální výrobní aplikace jako jsou tříosé a pětiosé obrábění, aerodynamické simulace a digitální vyhodnocení. Pracuje s uspořádanou i neuspořádanou sítí bodů vysoké hustoty získanou laserovými nebo jinými skenovacími systémy, z nichž některé lze k softwaru přímo připojit. Program disponuje pokročilou technologií vytváření polygonálních sítí a pozicování vícenásobných neuspořádaných skenů. Polygonální síť lze dále upravovat, vyplňovat díry, tvořit hrany, vyhlazovat objekty a dále s nimi pracovat. Následně vzniklé NURBS plochy jsou plně využitelné a editovatelné v běžně používaných CAD/CAM programech. [20]

#### **VXmodel**

Program VXmodel od firmy Creaform 3D je nástroj pro základní provádění reverzního inženýrství. Tento program je doplňkem pro již známý software VXelements. Pracovník si v software může prokládat skrz naskenovaná data geometrické prvky, prokládat řezy a vytvářet NURBS plochy. Tyto prvky lze následně exportovat do CAD modeláře a použít pro tvorbu plnohodnotného CAD modelu. [19]

#### **Geomagic for SolidWorks**

Geomagic® pro SolidWorks je plně integrovaný plugin v SolidWorksu. Jeho funkce pak můžete jednoduše využívat pomocí karty „Geomagic for SolidWorks“ umístěné v hlavním pásu karet. Tento doplněk vám umožňuje bezproblémové načítání STL souborů v prostředí SolidWorksu a využívání nástrojů jako např.: tvorba 2D řezů s entitami křivek a oblouků, prokládání parametrických, ploch, převod STL do objemových prvků a mnoho dalších. [19]

### **SW pro tvorbu 3D modelu**

Na trhu je více vhodných CAD (computer-aided design, česky počítačem podporované projektování). Pomocí CAD software je možno vymodelovat potřebný tvar díla. Některé software mají více uzpůsobené možnosti pro volno-plošné modelování, jiné se více zabývají technickým modelováním. Nic méně výběr je na trhu celkem veliký. [19]

Do výběru byly zařazeny tyto druhy SW:

- SolidWorks,
- Autodesk Alias,
- Rhino 3D,
- Siemens NX.

#### **SolidWorks**

SolidWorks je v současné době nejúspěšnější strojírenský 3D CAD systém na českém trhu, což dokazuje také každoroční nárůst počtu prodaných licencí. Zároveň je SolidWorks jediný CAD systém na českém trhu, který je kompletně lokalizován přímo výrobcem, tedy společností Dassault Systèmes SolidWorks. Jako parametrický 3D modelář vám SolidWorks nabízí výkonné objemové i plošné modelování, vertikální nástroje pro plechové díly, svařence a formy, práci s neomezeně rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů. [22]

#### **Autodesk Alias**

Jde o sadu aplikací pro průmyslový design - součást řešení Autodesku pro tvorbu digitálních prototypů. Virtuální digitální prototypy je možné použít pro celou řadu kontrol a testů ještě před fyzickým vytvořením výrobku nebo jeho prototypu. Rodina produktů Autodesk Alias se skládá z aplikací **Autodesk Alias Design** (s Alias Design for Inventor), Autodesk Alias Surface, Autodesk Alias Automotive a Autodesk Alias Create VR. Aplikace řady Autodesk Alias jsou určeny pro průmyslové designéry, konstruktéry a další profesionály, kteří navrhují detailní tvary výrobků ve spotřebním a automobilovém průmyslu, vytvářejí koncepční návrhy a pracují s volnoplošnými povrchovými 3D modely. [23]

#### **Rhino 3D**

Jde o aplikaci, která je určena pro kreativní vývojáře a konstruktéry hlavně v oblasti strojírenství, architektury, designu, konstrukce automobilů, lodí, letadel, nebo i šperkařství. Pracuje s NURBS plochami, kde má poměrně hodně nástrojů. [24]

## Siemens NX

Je zaměřen hodně na práci se sestavami, postupy pro tvorbu distribučních systémů, plechových dílů a automobilový průmysl. Nástroje systému NX pro tvorbu povrchů designérům umožňují vytvářet rozličné typy ploch, kombinovat je s povrchy na bázi křivek, úpravami kontrolních bodů a kombinovat všechny přístupy do jednoho pracovního postupu. NX dokáže generovat CAD modely z naskenovaných fyzických objektů mapováním povrchů a křivek do polygonové sítě. Pro okamžité vyhodnocení importovaných dat ze skeneru mohou designéři v NX využít analýzy a renderovací nástroje. [25]

### Nadstavby hardware a SW pro modelování

Existují systémy, které pomocí interakce simulují v 3D realitě některé úkony, jako by se jednalo o reálné modelování.

#### Haptic hardware

Haptická zařízení Geomagic umožňují prostorovou orientaci a pomocí silové zpětné vazby integrují hmat do 3D modelovacích systémů Geomagic Freeform a Geomagic Sculpt, stejně jako do dalších vědeckých i komerčních aplikací. Motory uvnitř zařízení působí na stylus silami, které kladou mu odpor podle interakce s virtuálními objekty a vytváří dokonalou iluzi hmatu. Podle typu umožňují silovou zpětnou vazbu ve 3 nebo 6-stupňové volnosti pohybu (DoF). Haptická zařízení umožňují cítit tvar. Virtuální nástroje se chovají jako skutečné a proto značně urychlují pracovní proces. [26]

Ukázka haptického zařízení je na Obr. 16.



Obr. 16 Haptické zařízení Geomagic [26]

#### Geomagic SCULPT

Řešení pro kreativní tvorbu organických 3D modelů a digitální sochařství, design a šperkařství. Virtuální hlína a iluze doteku zajistí perfektní orientaci a umožní tak snadno a přirozeně vytvářet i složité organické tvary. Haptický 3D stylus TOUCH je dodáván spolu

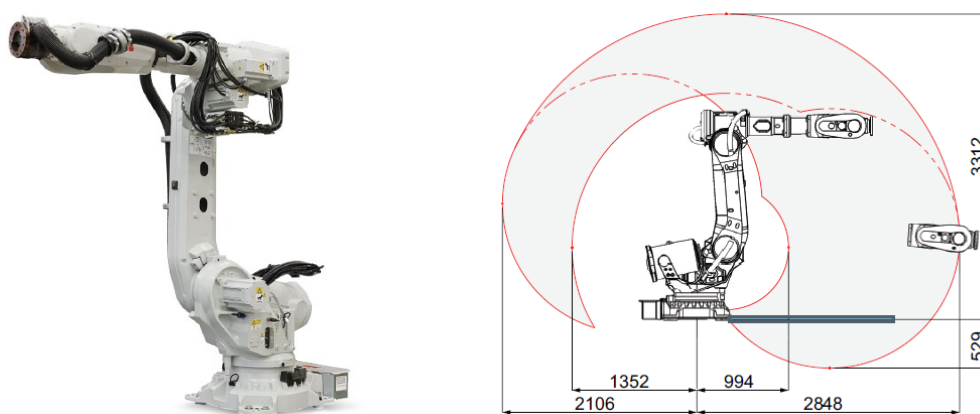
s Geomagic SCULPT a díky své schopnosti zprostředkovat hmat výrazně zefektivňuje práci s 3D modelem. Jedná se o nejpřirozenější způsob interakce s virtuálním objektem. Haptický 3D stylus TOUCH je dodáván spolu s Geomagic SCULPT. [27]

## 2.3 Analýza průmyslových robotů pro frézování

K dispozici je na trhu více jak dvacet výrobců robotů. Nejrozšířenější jsou roboty značek ABB, KUKA, FANUC, YASKAWA. Z těchto značek bylo vybráno vždy jen po jednom zástupci, který odpovídá nosností a svým dosahem. Roboty mají obdobné parametry, proto se do úvahy musí vzít i servisní zajištění a v neposlední řadě také možnosti opcí, které jednotlivé roboty mají. Zajímavé je též, že kromě robotu KUKA, který má řídicí systém pracujícím na Windows, mají všechny ostatní značky vlastní vyvinutý řídicí systém. [1]

### 2.3.1 Robot ABB typ IRB 6700-155/2.85

Jako zástupce firmy ABB byl vybrán typ IRB 6700-155/2.85, který je vhodný pro frézovací operace. Řada robotů IRB 6700 přirozeně navazuje na 40letou tradici velkých robotů od ABB. Tato 7. generace velkých robotů ABB se může pochlubit mnoha vylepšeními nové generace, která jsou výsledkem úzkých vztahů se zákazníky a propracovaných technických studií. Roboty IRB 6700 jsou robustnější než jejich předchůdci a jejich údržba je snazší. To z nich činí nejvýkonnější roboty s nejnižšími provozními náklady ve třídě 150–300 kg. U robotů IRB 6700 je zdokonalena nejen přesnost, nosnost a rychlost, ale došlo i ke snížení spotřeby o 15 % a byla zvýšena celková provozní výkonnost. Výsledkem je nejspolehlivější a cenově nejvýhodnější velký robot, který byl v ABB dosud vyroben. Ve skutečnosti byly celkové provozní náklady IRB 6700 sníženy o 20 % a vypočítaná střední doba bezporuchového provozu dosahuje pozoruhodných 400 000 hodin. Robot ABB typ IRB 6700-155/2.85 i s ukázkou dosahů je zobrazen na Obr. 17. [28]



Obr. 17 Robot ABB typ IRB 6700-155/2.85 [28]

V Tab. 4 jsou uvedeny základní parametry průmyslového robotu ABB.

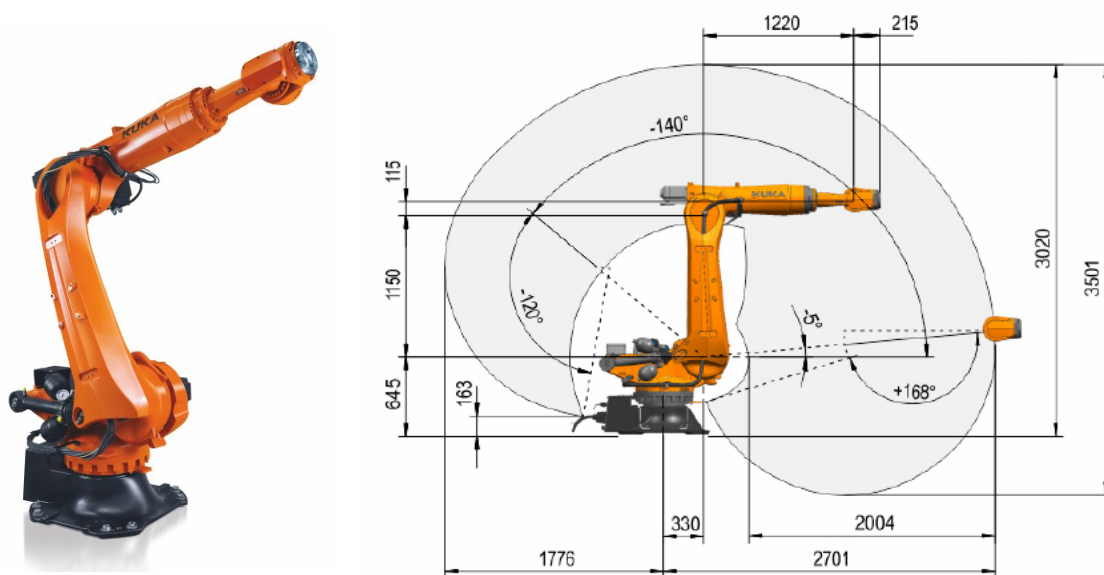
Tab. 4 Parametry robotu ABB typ IRB 6700-155/2.85 [28]

		IRB6700-155/2.85
nosnost	kg	155
dosah	mm	2850
opakovaná přesnost	mm	0,1
váha	kg	1260
výška nejdelšího dosahu	mm	980
příkon	kW	2,7

### 2.3.2 KUKA typ R2700-2/KR 150

Jako zástupce firmy KUKA byl vybrán typ R2700-2/KR 150, který je vhodný pro frézovací operace. Řada KR QUANTEC zjednodušuje projektování dokonce i v komplexních situacích udržitelným způsobem díky zredukovaným kolizním obrysům se štíhlejší rukou a menším půdorysem. Optimalizovaný kolizní obrys inovativního přívodu energie kromě toho zaručuje zjednodušenou simulaci a ekonomičtější plánování buněk. Také krátké doběhové dráhy robotů v případě zastavení dovolují kompaktní konstrukci buněk a zařízení a umožňují flexibilitu při navrhování a realizaci zařízení. [29]

Tento robot i s ukázkou dosahů je zobrazen na Obr. 18.



Obr. 18 Robot KUKA typ R2700-2/KR 150 [29]

V Tab. 5 jsou uvedeny základní parametry průmyslového robotu KUKA.

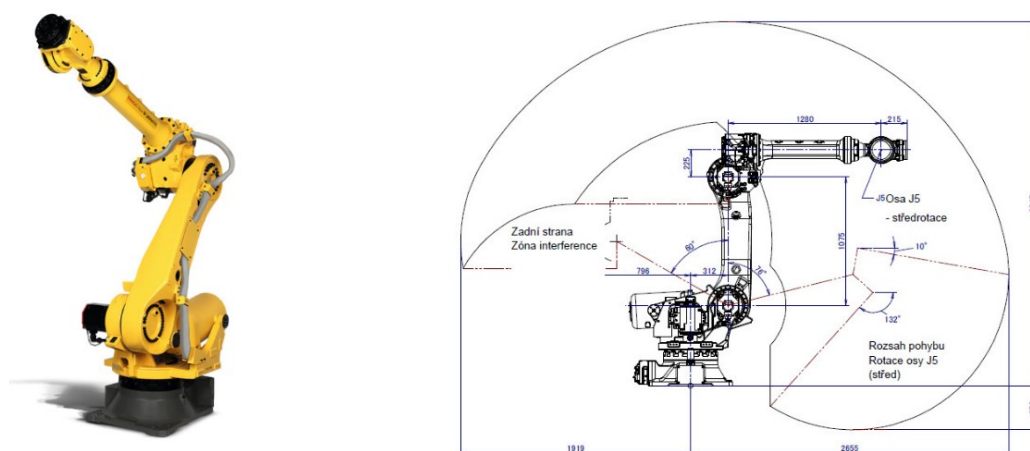
Tab. 5 Parametry Robotu KUKA typ R2700-2/KR 150 [29]

		R2700-2/KR 150
nosnost	kg	150
dosah	mm	2701
opakovaná přesnost	mm	0,05
váha	kg	1072
výška nejdelšího dosahu	mm	760
příkon	kW	4

### 2.3.3 FANUC R2000iC/165F

Jako zástupce firmy FANUC byl vybrán typ R2000iC/165F, který je vhodný pro frézovací operace. Univerzální šestiosý model řady R-2000 s vysokým užitečným zatížením nastavuje novou laťku flexibility v prakticky každém odvětví. Je vybaven štíhlým zápěstím a vzhledem ke schopnosti dosáhnout skvělé doby cyklu se jedná o hbitý robot pro bodové svařování v automobilovém průmyslu, nebo je vhodný i pro robotické frézování. Při návrhu bylo zohledněno i optimální využití prostoru a možnost práce v těsné blízkosti dalších robotů. Nový robot R-2000 iC se díky zmenšení velikosti a snížení hmotnosti mechanické části, velmi kompaktní konstrukci, tuhým přesto lehkým ramenům a špičkové technologii řízení pohybu je řada R-2000 iC důstojným nástupcem robotů řady R-2000 iB, jichž se po celém světě prodalo více než 60 000 kusů. V nabídce je i velké množství volitelného příslušenství pro různé procesy. U tohoto typu robotu je možnost ochrany před velkým množstvím prachu a tekutin. Volitelná ochranná sada pro základnu robotu, pohon a osy J1 a J2 poskytuje optimální ochranu. [30]

Tento robot i s ukázkou dosahů je zobrazen na Obr. 19.



Obr. 19 Robot FANUC typ R2000iC/165F [30]



V Tab. 6 jsou uvedeny základní parametry průmyslového robotu FANUC.

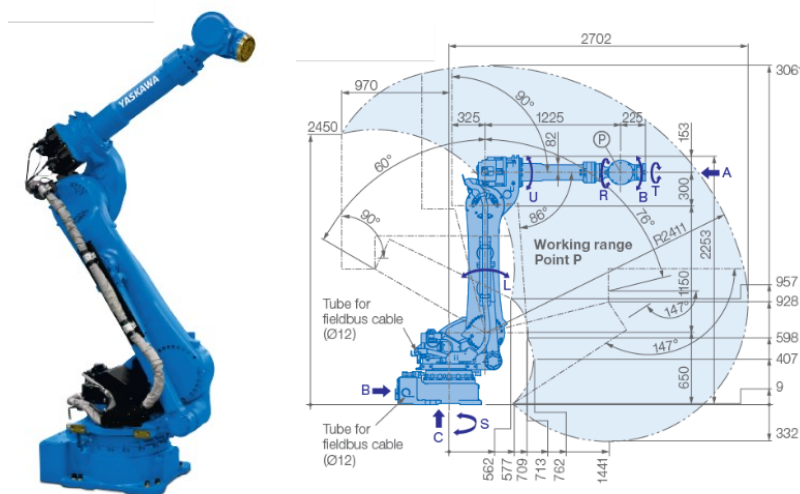
Tab. 6 Parametry robotu FANUC typ R2000iC/165F [30]

		R2000iC/165F
nosnost	kg	165
dosah	mm	2655
opakovaná přesnost	mm	0,05
váha	kg	1090
výška nejdelšího dosahu	mm	925
příkon	kW	2,5

### 2.3.4 YASKAWA GP180

Jako zástupce firmy YASKAWA byl vybrán typ GP180, který je vhodný pro frézovací operace. Obrábění představuje pro automatizaci řadu výzev: přesnost a vysoký výkon díky trvanlivé technologii s nízkou údržbou. Díky nejlepším produktům ve své třídě a otevřené architektuře připravené k připojení vytváří Yaskawa důležité předpoklady pro vynikající a energeticky efektivní řešení. Účinné invertorové pohony pro vřeteno, navíječ a přepravu. Energeticky efektivní a výkonné vřetenové pohony lze snadno implementovat pomocí AC pohonů Yaskawa. S výstupní frekvencí až 1 000 Hz a odpovídajícími převodovkami jsou možné aplikace vřetena až do vysokorychlostního rozsahu. Vysoký točivý moment v kombinaci s vysoce účinným potlačením vibrací zajišťuje extrémní přesnost dráhy i při vysokých výkonech. Předchozí funkce pro potlačení vibrací byly vylepšeny a rozšířeny, aby se dále optimalizovala doba usazování. To snižuje vibrace a rezonance během provozu a zastavení. To se odráží v kvalitě konečných produktů. [31]

Robot Yaskawa GP180 i s ukázkou dosahů je zobrazen na Obr. 20.



Obr. 20 Robot YASKAWA typ GP180 [31]

V Tab. 7 jsou uvedeny základní parametry průmyslového robotu YASKAWA

Tab. 7 Parametry robotu YASKAWA typ GP180 [31]

		GP 180
nosnost	kg	180
dosah	mm	2702
opakovaná přesnost	mm	0,05
váha	kg	1020
výška nejdelšího dosahu	mm	928
příkon	kW	5

### 2.3.5 Porovnání základních parametrů vybraných průmyslových robotů

Jak už bylo uvedeno, všechny vybrané roboty splňují základní podmínku, tedy vhodnost a použitelnost těchto robotů pro operace frézování. Jak deklarují samotní výrobci.

V tab. 8 je provedeno shrnutí parametrů vybraných průmyslových robotů.

Tab. 8 Shrnutí parametrů průmyslových robotů

		FANUC	KUKA	Yaskawa	ABB
		R2000iC/ 165F	R2700-2/ KR 150	GP 180	IRB6700- 155/2.85
nosnost	kg	165	150	180	155
dosah	mm	2655	2701	2702	2850
opakovaná přesnost	mm	0,05	0,05	0,05	0,1
váha	kg	1090	1072	1020	1260
výška nejdelšího dosahu	mm	925	760	928	980
příkon	kW	2,5	4	5	2,7

Všechny roboty mají přibližně stejné dosahy. I když nosnost robota není přímou veličinou pro technologii frézování, může napovědět o tuhosti a větších kroutících momentech kloubů robotů. V tomto kritériu vítězí robot Yaskawa se 180 kg nosnosti. Druhá pozice patří robotu Fanuc. Pokud se bude posuzovat robot dle opakované přesnosti, což je pro frézování velmi důležitá veličina, tak nejlepší uváděná přesnost 0,05 mm je stejná hned u třech robotů (Fanuc, Kuka, Yaskawa). Jen robot ABB vykazuje horší parametr opakované přesnosti, tedy 0,1 mm. A posledním důležitým kritériem pro ekonomiku provozu je příkon robotu. V tomto srovnání si nejlépe vede robot Fanuc s 2,5 kW příkonem, těsně před robotem ABB s 2,7 kW příkonem.

Ve všech třech nejdůležitějších kritériích se na vedoucích pozicích objevuje robot Fanuc R2000iC/165F, proto se jeví jako nejvhodnější pro výběr robotu k operaci frézování. Navíc dle informace výrobce tento robot již disponuje podsystémem výpočtu korekce polohy.

### 3 Požadavkový list

Požadavkový list slouží k ujasnění si zadání a také pro ulehčení konkretizace parametrů pro výběr použitých technologií, či technologických součástí zadaného problému. K lepšímu a konkrétnějšímu zpracování požadavkového listu by měl posloužit soubor otázek, uvedených v příloze č. 1.

#### 3.1 Soupis základních požadavků

Soupis robotizovaného pracoviště by se měl zabývat řešením pěti základních částí:

- Materiál pro výrobu a tok materiálu výrobou.
- Technologie použitá na tomto pracovišti i s potřebnými nástroji a periferiemi.
- Prostředky pro návrh výrobku a řízení procesu výroby (SW a pomocná technika).
- Prostorem pro umístění tohoto pracoviště (včetně přívodu potřebných medií).
- Bezpečností

Konkrétně je potřeba vytvořit osnovu požadavkového listu podle těchto 5 základních částí řešeného pracoviště.

##### 3.1.1 Materiál pro výrobu a tok materiálu výrobou

V této části by měl být řešen materiál polotovaru, jeho vlastnosti, maximální rozměry, hmotnost polotovaru, jak by měl být zajištěn dovoz polotovarů a odvoz hotových výrobků, mezioperační skladování, materiálový tok napříč procesem výroby a způsoby jeho přesunů.

##### Definice materiálu

Rozměry a váha polotovaru je zadána jako maximální.

##### **Pro kvádr**

- šířka: 1 000 mm x 1 000 mm,
- výška: 1500 mm,
- váha: do 850 kg,
- materiál: dřevo – buk 560 kg/m<sup>3</sup>, nebo lehce opracovatelné materiály do udaného rozměru a váhy.

***Fyzikální vlastnosti Kvádr dřevo 1000x1000x1500 mm***

Hmotnost = 840.00 kg

Objem = 1500000000.00 mm<sup>3</sup>

Plošný obsah = 8000000.00 mm<sup>2</sup>

Těžiště: [mm] X = 0.00

Y = 0.00

Z = 750.00

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: [kg \* mm<sup>2</sup>]

*Vybrané z těžiště:*

$I_x = (0.00, 0.00, 1.00)$        $P_x = 140000000.00$

$I_y = (0.00, -1.00, 0.00)$        $P_y = 227500000.00$

$I_z = (1.00, 0.00, 0.00)$        $P_z = 227500000.00$

Momenty setrvačnosti: [kg \* mm<sup>2</sup>]

*Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.*

$L_{xx} = 227500000.00$        $L_{xy} = 0.00$        $L_{xz} = 0.00$

$L_{yx} = 0.00$        $L_{yy} = 227500000.00$        $L_{yz} = 0.00$

$L_{zx} = 0.00$        $L_{zy} = 0.00$        $L_{zz} = 140000000.00$

Momenty setrvačnosti: [kg \* mm<sup>2</sup>]

*Získány z výstupního souřadného systému.*

$I_{xx} = 700000000.00$        $I_{xy} = 0.00$        $I_{xz} = 0.00$

$I_{yx} = 0.00$        $I_{yy} = 700000000.00$        $I_{yz} = 0.00$

$I_{zx} = 0.00$        $I_{zy} = 0.00$        $I_{zz} = 140000000.00$

**Pro válec**

- průměr: 1 500 mm
- výška: 1 500 mm,
- váha: do 1 500 kg,
- materiál: dřevo – buk 560 kg/m<sup>3</sup>, nebo lehce opracovatelné materiály do udaného rozměru a váhy.

***Fyzikální vlastnosti Válec dřevo 1500x1500 mm***

Hmotnost = 1484.40 kg

Objem = 2650718801.47 mm<sup>3</sup>

Plošný obsah = 10602875.21 mm<sup>2</sup>

Těžiště: [mm]     $X = 0.00$   
                                $Y = 0.00$   
                                $Z = 750.00$

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: [kg \* mm<sup>2</sup>]

*Vybrané z těžiště.*

$I_x = (0.00, 0.00, 1.00)$        $P_x = 417488211.23$

$I_y = (0.00, -1.00, 0.00)$        $P_y = 487069579.77$

$I_z = (1.00, 0.00, 0.00)$        $P_z = 487069579.77$

Momenty setrvačnosti: [kg \* mm<sup>2</sup>]

*Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.*

$L_{xx} = 487069579.77$        $L_{xy} = 0.00$        $L_{xz} = 0.00$

$L_{yx} = 0.00$        $L_{yy} = 487069579.77$        $L_{yz} = 0.00$

$L_{zx} = 0.00$        $L_{zy} = 0.00$        $L_{zz} = 417488211.23$

Momenty setrvačnosti: [kg \* mm<sup>2</sup>]

*Získány z výstupního souřadného systému.*

$I_{xx} = 1322046002.23$        $I_{xy} = 0.00$        $I_{xz} = 0.00$

$I_{yx} = 0.00$        $I_{yy} = 1322046002.23$        $I_{yz} = 0.00$

$I_{zx} = 0.00$        $I_{zy} = 0.00$        $I_{zz} = 417488211.23$

### **Definice toku materiálu**

Materiál musí mít logiku i v toku mezi jednotlivými pozicemi zpracování. Jelikož se může jednat o váhově a prostorově náročné díly, nutno zajistit odpovídající a bezpečnou přepravu.

#### **3.1.2 Použitá technologie i s potřebnými nástroji a periferiemi**

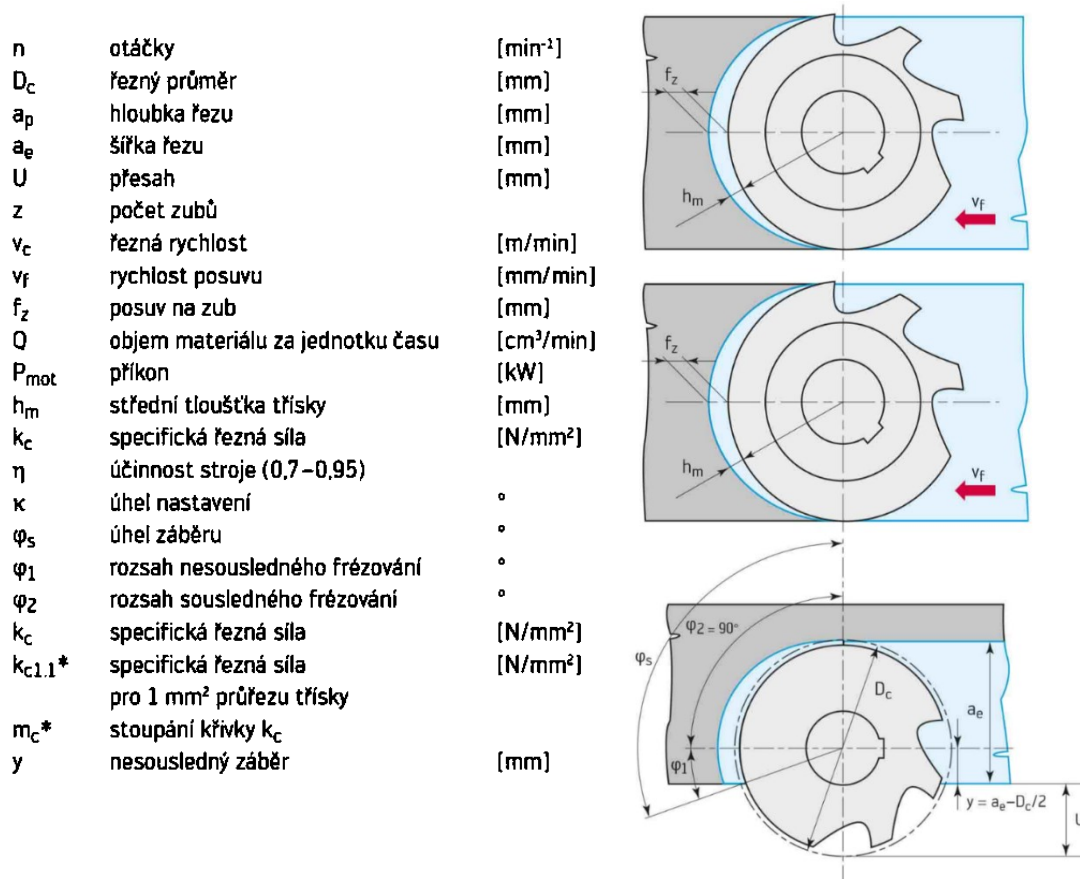
Tato část se věnuje použitelnou technologií pro všechny operace výrobního procesu, tedy nejen výrobní technologií, ale i technologií pro manipulaci s polotovarem a hotovým výrobkem. Důležitým aspektem je i zjištění způsobu obrábění, zjištění informace o vhodném prostředku obrábění (frázovací hlavě), způsobu upnutí polotovaru při výrobě, počtu a typu obráběcích nástrojů a zjištění informací o dalších možných periferiích. Neméně důležitou informací je také systém řízení robota a možných periferií, zabezpečení pracovního prostoru robota a zabezpečení odvodu zbylého materiálu z pracovního prostoru, případně zajištění bezpečnosti pracovních částí robota proti abrazivním částem z odpadu.

## Řezné nástroje

Předpokladem obrábění jsou měkké materiály, kde bude třeba řešit jak odběr velkého množství materiálu při hrubování, tak jemné dokončení detailů. Pro jednotlivé typy bude vytypován jeden představitel, podle kterého bude proveden i výpočet řezných odporů a potřebný výkon vřetene. Dle maximálního průměru a použitého nástroje musí být navržen i zásobník nástrojů, aby nemohlo dojít ke kolizi v případě výměny nástroje.

## Výpočet řezných sil a výkonu

Pro správné stanovení nosnosti robotu a jeho tuhosti je třeba provést základní výpočty řezných sil a výkonu vřetene. Pokud by byla nosnost robotu nízká, robot by při frézování vibroval a mohl by dokonce vypadnout na přetížení osy, což by mělo vážné následky na výsledek. U vřetene je nutno vypočítat výkon vřetene, aby nedošlo k zastavení otáček při řezném procesu. Následkem by byl znehodnocen materiál a zlomení nástroje. Schéma a parametry pro řezné nástroje jsou uvedené na Obr. 21.



Obr. 21 Schéma a parametry pro řezné nástroje [32]

**Vzorce pro výpočet:**

Otáčky 
$$n = \frac{v_c \times 1000}{D_c \times \pi} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

Řezná rychlost 
$$v_c = \frac{D_c \times \pi \times n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (2)$$

Rychlost posuvu 
$$v_f = f_z \times z \times n \quad [\text{mm/min}] \quad (3)$$

Posuv na zub 
$$f_z = \frac{v_f}{z \times n} \quad [\text{mm/z}] \quad (4)$$

Objem materiálu za jednotku času

$$Q = \frac{a_e \times a_p \times v_f}{1000} \quad [\text{cm}^3/\text{min}] \quad (5)$$

Příkon 
$$P_{\text{mot}} = \frac{Q \times k_c}{60\,000 \times \eta} \quad [\text{kW}] \quad (6)$$

Střední tloušťka třísky 
$$h_m = \frac{\{114,7 \times f_z \times \sin \kappa \times (a_e / D_c)\}}{\varphi_s} \quad [\text{mm}]$$

$$f_z = \frac{h_m \times \varphi_s}{114,7 \times \sin \kappa \times (a_e / D_c)} \quad [\text{mm}]$$

nebo 
$$h_m \cong f_z \times \sqrt{\frac{a_e}{D_c}} \quad [\text{mm}]$$

$$f_z = \frac{h_m}{\sqrt{\frac{a_e}{D_c}}} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

jako přibližný vzorec pro  $a_e/D_c < 30 \%$

Specifická řezná síla 
$$k_c = \frac{1 - 0,01 \times \gamma_0}{h_m^{mc}} \times k_{c1.1} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (8)$$

### Řezná rychlost (Vc)

Řezná rychlost pro předpokládané obrábění materiálů je stanovena následovně:

- měkké plasty 600 m/min,
- tvrdé plasty 550 m/min,
- měkké dřeviny 500 m/min,
- tvrdé dřeviny 450 m/min,
- MDF 450 m/min.

### Výpočet výkonu vřetene

Pro výpočet jsou navrženy dva typy nástrojů:

#### **Hrubovací nástroj - Spirálová falcovací fréza s VBD - CNC 80x81,4x30 16+2 [33]**

Vysoce výkonné frézy pro NC stroje, určené k podélnému i příčnému frézování. Tělo nástroje je slitina AL. Materiál řezného břitu má výměnné břitové destičky VBD, 4 řezné hrany s rádiusem R50 (obvod) HW výměnné destičky VBD – 4 řezné hrany rovné (čelo). Výhodou je, že nástroj již má upínání HSK 63F přímo integrované. Odpadá tím nebezpečí problémům s vyvážením nástroje. [33] Zobrazení je provedeno na Obr. 22.



Obr. 22 Spirálová falcovací fréza s VBD - CNC 80x81,4x30 16+2 [33]

#### **Parametr:**

- řezný průměr 80 mm,
- pracovní délka 81 mm,
- počet zubů 16 + 2
- průměr stopky 30 mm,
- provedení VBD,
- otáčení RH.
- $n_{\max}$  16 000 ot/min
- posuv 4 - 8 m/min [33]



**Výpočet:**

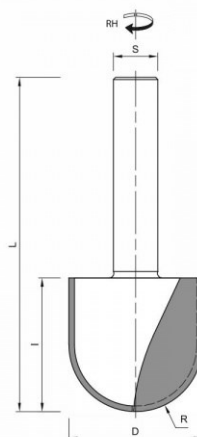
Výpočet je proveden pomocí výpočtové tabulky firmy Walter. [32] Samotný výpočet je zobrazen v Tab. 9.

Tab. 9 Výpočet pro spirálovou falcovací frézu s VBD - CNC 80x81,4x30 16+2 [32]

<div><div>O</div><div>Duroplasty bez abrazivních plniv</div></div>		Průměr		Řezná rychlost		otáčky, RPM	
		80.00		3000		11937	
		<div>De l mm</div>		<div>vc l m/min</div>		<div>n l RPM</div>	
Počet zubů	hloubka řezu	Šířka řezu		Úhel náběhu		Posuv na zub	
4	8.00	60.00		45		0.13	
Z	<div>ap l mm</div>	<div>ae l mm</div>		<div>k l °</div>		<div>fz l mm</div>	
posuv na otáčku	lineární posuv	Délka řezu		Přesazení		úhel čela	
0.50	6000	80		0.00		0	
<div>fn l mm/rev</div>	<div>vf l mm/min</div>	<div>lm l mm</div>		<div>U l mm</div>		<div>γ l °</div>	
Účinnost	Stupeň opotřebení	Výpočtové vzorce		<div><div>Síla třísky</div><div>0.06 hm l mm</div><div>objem materiálu za jednotku času</div><div>2880.00 cm³/min</div><div>Doba obrábění</div><div>1.20 sec.</div><div>Krouticí moment</div><div>10.00 Mc l Nm</div><div>Potřebný výkon</div><div>13.15 Pmot l KW</div></div>			
95	0	<div><div><div><math>f_x</math></div></div></div>					
<div>η l %</div>	<div>%</div>						

**Frézovací nástroj - kulová fréza modelářská SK R20 40x60/160 d=25 mm - CNC**

Tato fréza slouží pro frézování hlubokých kontur při výrobě modelů se strojním posuvem pro produktivní frézování. Možnosti frézy jsou jak pro hrubování, tak i pro dokončování, pokud vyhovuje rádius nástroje. Jelikož jde o pájenou frézu, je možné ji brousit, čímž se při ostření zmenšuje řezný průměr. [34] Zobrazení kulové frézy je provedeno na Obr. 23.



Obr. 23 Kulová fréza modelářská SK R20 40x60/160 d=25 mm [34]



**Parametry:**

- řezný průměr 40 mm,
- pracovní délka 60 mm,
- celková délka 160 mm,
- rádius R 20 mm,
- počet zubů 2,
- průměr stopky 25 mm,
- $n_{\max}$  20 000 ot/min,
- posuv 4 – 8 m/min
- provedení SK,
- otáčení RH. [34]

**Výpočet:**

Výpočet je proveden pomocí výpočtové tabulky firmy Walter. [32] Samotný výpočet je zobrazen v Tab. 10.

Tab. 10 Výpočet pro frézu kulovou modelářská SK R20 40x60/160 d=25 mm [32]

		Průměr	Řezná rychlost	otáčky, RPM
		40.00	1508	12000
		Dc   mm	vc   m/min	n   RPM
Počet zubů	hloubka řezu	Šířka řezu	Úhel náběhu	Posuv na zub
2	6.00	40.00	45	0.25
Z	ap   mm	ae   mm	k   °	fz   mm
posuv na otáčku	lineární posuv	Délka řezu	Přesazení	úhel čela
0.50	6000	80	0.00	0
fn   mm/rev	vf   mm/min	lm   mm	U   mm	γ   °
Účinnost	Stupeň opotřebení	Výpočtové vzorce	<div> <div>Síla tlisky</div> <div>0.11 hm   mm</div> </div> <div> <div>objem materiálu za jednotku času</div> <div>1440.00 cm<sup>3</sup>/min</div> </div> <div> <div>Doba obrábění</div> <div>1.00 sec.</div> </div> <div> <div>Krouticí moment</div> <div>4.44 Mc   Nm</div> </div> <div> <div>Potřebný výkon</div> <div>5.87 Pmot   KW</div> </div>	
95	0			
η   %	%			

- **Upínač nástrojů**

Nástroje pro výměnu je třeba upnout do držáku, který je možno automaticky měnit ve vřetenu. Vybrané vřeteno používá držáky HSK 63-F. [35] Jde o upínač nástrojů s upínací kleštinou na CNC frézovacích strojích s automatickou výměnou nástrojů, upínací kužel podle DIN 69893-6 tvar F kalené a broušené provedení přesně vyvážené zabezpečení nástroje proti pootočení. [35]

Vybraný držák nástrojů je zobrazen na Obr. 24.



Obr. 24 Držák nástrojů HSK 63-F [35]

### 3.1.3 Prostředky pro návrh výrobku a řízení procesu výroby (TPV)

V této podkapitole bude třeba si ujasnit požadavky, které by měly splňovat SW prostředky jednak pro návrh modelu a pak i pro samotné řízení procesu výroby.

#### Návrh modelu

Programové vybavení pro tvorbu modelu musí splňovat podmínku jednoduchého, intuitivního SW, který bude uzpůsoben tvůrčí a kreativní tvorbě a jeho ovládání zvládne i technicky méně zdatný umělec, nebo designový tvůrce. Kreativní pracovník bude s tímto SW pracovat buď v plném rozsahu tvorby modelu vrstvením a úpravou 3D modelu, nebo si bude pomáhat ručním optickým, nebo laserovým skenerem a nasnímaný model pak ještě upravovat dle záměru umělce. Použití skeneru není pro robotizované pracoviště nutná součást, protože se sken modelů může uskutečnit externě, ale v rámci kontinuity všech procesů je tato opce doporučena. Už i z toho důvodu, že se dá navíc skenovat i vstupní materiál, tedy polotovary a usnadnit tím sjednocení modelu s polotovarem. Součástí opce může být i SW pro pevnostní výpočty navrženého modelu.

V každém případě je nutno dodržet kompatibilitu všech SW prostředků pro komunikaci mezi sebou, včetně předávání dat ve správném formátu k dalšímu zpracování.

#### Řízení procesu výroby – vygenerování a řízení drah nástroje robotu

Pro řízení drah frézování je nutné pořídit SW vybavení s kvalitním CAD/CAM systémem, nejlépe takovým, který má praxi s řízením průmyslových robotů a schopností vygenerování drah pro 6-osé roboty. Měl by zároveň spolupracovat s konkrétně vybraným typem robotu a jeho řídicím systémem. Dále by měl splňovat podmínku možnosti využití jako samostatný CAM systém pro řízení vybraného robotu, tedy řízení všech os kontinuálně, výpočet drah,

provést reálnou simulace, kontrolu kolizí drah i přejezdů, nastavení parametrů robotu. Tento systém by také měl zajistit řízení minimálně dalších dvou os polohovacího zařízení, které bude pracovat v součinnosti s pohyby robotu pro ideální nasměrování polohy nástroje vůči polotovaru. A navíc by měl také řídit otáčky frézovací hlavy, připevněné na robotu.

### 3.1.4 Prostor pro umístění pracoviště

V této podkapitole je nutné si ujasnit požadavky k prostoru umístění pracoviště, nejen pro prostor obrábění a dosahu robotu, ale hlavně na další potřebný prostor celého pracoviště, včetně komunikačních prostor. Je nutno definovat, jakým způsobem se bude mezi jednotlivými stanovišti materiál přemísťovat, kolik osob bude třeba, jak musí být zajištěna bezpečnost.

Požadavkem je mít celkově pět prostorů, které budou spojeny komunikačním prostorem

#### **Prostor skladu polotovarů**

Tento prostor by měl být přístupný vnějšími vraty pro dovoz polotovarů a odvoz hotových výrobků. Prostor by měl být zastřešený, suchý se zpevněnou podlahou. Tento prostor by měl mít zdvihací zařízení a dále posuvný zdvihací systém pro přemísťování polotovarů a hotových výrobků do prostoru výroby, nebo jinak vyřešenu manipulaci s díly.

Manipulace bude prováděna jak s malými, tak prostorově i váhově velkým materiálem. Musí být zajištěna dostatečně velká a bezpečná komunikační cesta dle zvoleného přepravního a upínacího systému.

Jelikož jde o materiál, který je náchylný k velikosti, je nutno zajistit, aby prostor byl dostatečně suchý a odvětrán. Při stojatém vzduchu by mohlo docházet k znehodnocení polotovarů. Výstupní sklad by měl mít možnost kontroly díla zákazníkem a balení před odesláním.

#### **Prostor výroby**

V tomto prostoru by se měla provádět operace frézování pomocí robota. Prostor by měl být zastřešený, uzavřený, se systémem odsávání pilin a zabezpečen proti vniknutí osob při procesu obrábění. Dále by měl splňovat další požadavky.

- Upínání dílu - zde je nutno navrhnout, jak bude díl upínán na pracovní plochu stolu, aby se při obrábění nepohnul a nebylo nebezpečí úrazu, nebo poškození pracoviště
- Odsávání třísek - při obrábění budou vznikat jak klasické třísky, tak nebezpečí prашného prostředí. Na pracovišti se nebude obrábět materiál, který by měl výbušnou povahu, tudíž

není nutno řešit ATEX. Je požadavek na odsávání třísek a prachu u vřetene, kde ale nesmí docházet ke kolizím s materiálem při jednotlivých drahách. Tento požadavek neplatí na odsávání hrubých třísek. Ty budou uklizeny při čištění pracoviště před výměnou dílů, v případě potřeby přerušáním programu a vstupem obsluhy do prostoru při hrubování. Ke kontrole budou sloužit průhledné pole v oplocení. Objem zásobníku odsávání by měl být více jak 30 % objemu maximální velikosti dílu.

- Přívod čistého vzduchu k vřetenu - vřeteno bude sice vodou chlazené, je třeba ale vyřešit i přívod vzduchu k „oplachu“ vřetene ventilátorem umístěným na vřetenu. Jelikož je nebezpečí i přes odsávání nasátí dřevěného prachu do vřetene a následné přehřívání, je potřeba zajistit přívod čistého vzduchu k vřetenu.

### **Prostor pro skenování/dokončování a kontrolu dílů**

V tomto prostoru by mělo být dostatek prostoru jak pro skenování, kontrolu, případně drobnému dokončování dílů. Je třeba mít upínací stůl s dostatečnou tuhostí.

### **Prostor pro přípravu TPV**

Tato část výrobní haly by měla být prosklenou stěnou spojena s výrobní i skladovou částí a měli by být v ní umístěny všechny řídicí komponenty pro vlastní řízení procesu výroby. Prostor pro obsluhu musí v první řadě splňovat všechny bezpečnostní normy a nařízení. Musí být dostatečně osvětlen a jeho velikost musí odpovídat hygienickým předpisům. Obsluha musí mít prostor pro TPV. Vše musí být vyřešeno ergometricky.

### **Prostore výstupního skladu**

Tento prostor by měl být opět přístupný vnějšími vraty pro odvoz hotových výrobků. Prostor by měl být zastřešený, suchý se zpevněnou podlahou. Tento prostor by měl mít zdvihací zařízení a dále posuvný zdvihací systém pro přemísťování polotovarů a hotových výrobků do prostoru výroby, nebo jinak vyřešenu manipulaci s díly.

#### **3.1.5 Bezpečnost a normy**

Zařízení musí být vyrobeno tak, aby bylo bezpečné. K určení, zda za je zařízení bezpečné slouží harmonizované normy EU. Pokud je zařízení vyrobeno dle těchto norem a má od výrobce potvrzeno CE, považuje se za bezpečné pro provozování v rámci EU. Zařízení bez CE se nesmí provozovat. To nevylučuje nutnost dalších dokumentů o bezpečnosti, jako například elektro revizní zprávy a podobně. Pro robotické pracoviště je nutno dodržet minimálně normy uvedené níže.

**Bezpečnostní normy a směrnice**

Pro robotické pracoviště je nutno dodržet min. normy uvedené níže.

- směrnice 2006/42/ES
- směrnice 2014/30/EU

**Harmonizované normy:**

ČSN EN ISO 20128-1 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty.

ČSN EN ISO 20128-2 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: systémy robotů a integrace.

ČSN EN ISO 13857 - Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami.

ČSN EN ISO 4414 - Pneumatika - Všeobecná pravidla a bezpečnostní požadavky na pneumatické systémy a jejich součásti.

ČSN EN ISO 12100 - Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika.

ČSN EN ISO 13849-1 - Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci.

ČSN EN ISO 13855 - Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla.

ČSN EN ISO 14120 - Bezpečnost strojních zařízení - Ochranné kryty - Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů.

ČSN EN 60204-1 ed. 2 - Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky.

ČSN EN 61310-1 ed. 2 - Bezpečnost strojních zařízení - Indikace, značení a uvedení do činnosti - Část 1: Požadavky na vizuální, akustické a taktilní signály.

ČSN EN 61310-3 ed. 2 - Bezpečnost strojních zařízení - Indikace, značení a uvedení do činnosti - Část 3: Požadavky na umístění a funkci ovládačů.

ČSN EN 61310-2 ed. 2 - Bezpečnost strojních zařízení - Indikace, značení a uvedení do činnosti - Část 2: Požadavky na značení.

### Posouzení rizika

Před započítím konstrukčních prací je žádoucí provést analýzu a posouzení rizika, které vychází z výše uvedených norem. Analýza by měla obsahovat seznam základních požadavků na ochranu zdraví a bezpečnosti vztahujících se na návrh a konstrukci strojních zařízení uvedených v příloze č. 1 NV č. 176/2008sb.

- Specifikace mezních hodnot a předpokládané používání stroje
- Identifikace nebezpečí a nebezpečných situací podle ČSN EN ISO 10218-2 a ČSN ISO 12100
- Odhad a snížení rizika podle ČSN EN ISO 10218-2, ČSN EN ISO 12100, ČSN EN 13849-1 a ISO/TR 14121-2

Analýzy by měly být vypracovány před započítím konstrukčních prací na základě návrhu pracoviště, aby se konstruktéři mohli správně vypořádat s veškerými bezpečnostními úskalími.

## 3.2 Finální požadavkový list

Na základě soupisu požadavků je sestaven finální požadavkový list, který je zpracován v Tab. 11.

Tab. 11 Finální požadavkový list

materiál polotovaru a toku materiálu výrobou	materiál polotovaru	Dřevo, umělé dřevo, polystyren
	max. vlhkost materiálu	20 %
	max. velikost polotovaru	Kvadr – 1 000 x1 000 x 1 500 mm Válec – 1 500x1 500 mm
	max. váha polotovaru	1 300 kg
	dovoz polotovaru	Autem
	skladování polotovaru	na zastřešené ploše skladu
	podmínky skladování polotovaru	suché, pod střešou
	tok materiálu	k robotu a zpět do skladu
	přesun materiálu	podélným, posuvným, zdvihacím zařízením
	skladování hotového výrobku	na zastřešené ploše skladu
	Podmínky skladování hotového výrobku	suché, pod střešou
	odvoz hotového výrobku	Autem
Použité technologie, nástroje a periferie	technologie pro skládání polotovaru a naložení hot. Výrobku	otočné zdvihací zařízení nosnost 1 500 kg
	technologie pro přesun polotovarů a hot. výrobku (materiálový tok)	pojezdové zdvihací zařízení (kočka) nosnost 1 500 kg
	upnutí polotovaru	upínací deska se šroubovými upínači
	kontrola tvaru polotovaru	opce: optický, nebo laserový snímač připevněný na robotu

Tab.11 Finální požadavkový list (pokračování)

Použité technologie, nástroje a periferie	typ robota	průmyslový robot s 6 stupni volnosti
	max. příkon	30 kW
	dosah ramen	2 m od základny
	kolik druhů obrábění	2
	jaké druhy obrábění	hrubovací a dokončovací
	jaké frézovací vřeteno na robotu	Elektrické
	maximální otáčky vřetene	20 000 ot/s
	příkon vřetene	10 kW
	kolik nástrojů	5
	výměna nástrojů	Automaticky
	kolik pozic v dokovací stanici na nástroje	5
	další periferie	otočný stůl nosnost 1 500 kg
	kontrola rozměru hotového výrobku	opce: optický, nebo laserový snímač připevněný na robotu
	odvod zbytků odfrézovaného materiálu	opce: podtlakové odsávací zařízení
	ochrana funkčních částí robota	opce: přetlakový rukáv robota
	ochrana osob v prostoru robota	uzavřený výrobní prostor
SW pro návrh výrobku a k řízení procesu výroby		
	co musí plnit program pro návrh výrobku (CAD)	jednoduchost, tvůrčí a kreativní tvorbu
	jaké příslušenství k programu CAD	opce: ruční optický, nebo laserový snímač
	pevnostní výpočty pro návrh výrobku	Opce: ano
	nutnost zmenšeného modelu	Opce: ano
	komunikace s dalšími systémy	ANO
	řídící systém robota	součást technologie
	možné využít samostatný CAM systém	Ano
	co musí plnit program pro řízení robota (CAM)	řízení všech os kontinuálně, výpočet drah, reálná simulace, kontrola kolizí drah i přejezdů, nastavení parametrů robotu,
	musí CAM systém řídit otáčky frézovacího vřetene	Ano
Prostory pracoviště		
	min. rozměry robotizovaného pracoviště	10x15 m (150 m <sup>2</sup> )
	min. rozměry prostoru přípravy a skladování	10x10 m (100 m <sup>2</sup> )
	klimatické podmínky v prostoru přípravy a skladování	zastřešený, suchý se zpevněnou podlahou
	přístup do prostoru přípravy a skladování	velká vjezdová vrata, dveře do výrobního prostoru, dveře do řídicího prostoru
	manipulace s polotovary a hotovými výrobky	zdvhací zařízení
	vstupní média prostoru přípravy a skladování	přívod el. energie 5kW
	zabezpečení prostoru přípravy a skladování	uzamykatelná, čidla pohybu, čidla zahoření
	min. rozměry prostoru výroby	10x5 m (50 m <sup>2</sup> )



Tab. 11 Finální požadavkový list (pokračování)

Prostory pracoviště	jaké technologie v prostoru výroby	robot, řídicí systém robota, rozvaděč, frézovací vřeteno, zásobník nástrojů, otočný stůl, odsávání
	vstupní média prostoru výroby	přívod el. energie 30 kW, podtlakový vysavač, přívod vody, tlakový vzduch
	manipulace s polotovarem, či hot. výrobkem	zdvihací zařízení
	odvod odděleného materiálu	podtlakový vysavač
	klimatické podmínky v prostoru výroby	zastřešený, suchý se zpevněnou podlahou, prostor s pod tlakem
	zabezpečení prostoru výroby	bezpečnostní ochrana osob, uzamykatelná, čidla pohybu, čidla zahoření
	min. rozměry prostoru řízení	10x5 m (50 m <sup>2</sup> )
	zabezpečení prostoru řízení	uzamykatelná, čidla pohybu, čidla zahoření
	jaké technologie v prostoru řízení	PC, velký monitor, propojení s řídicím systémem robota, připojení na rychlý internet
	vstupní média prostoru řízení	přívod el. energie 220 V, připojení na rychlý internet
	klimatické podmínky v prostoru výroby	zastřešený, suchý se zpevněnou podlahou, s klimatizací
	zabezpečení prostoru přípravy a skladování	uzamykatelná, čidla pohybu, čidla zahoření
	bezpečnostní hlediska v celém objektu	protipožární ochrana, všechny atributy bezpečnosti práce, revize el. strojů, revize zdvihacích zařízení

## 4 Návrh řešení

Z požadavkového listu je vytvořen návrh řešení. Je tvořen 3 variantami, lišícími se jen technickými možnostmi pro natáčení polotovaru v různých osách tak, aby obrábění mohlo být co nejefektivnější. Z navržených variant bude na základě vyhodnocení vybrána ta nejvhodnější a tato varianta bude dopracována do konečné podoby návrhu pracoviště. A to i s možností přidání jednotlivých opcí.

Hlavní koncepce navrženého pracoviště je pro všechny varianty stejná.

### 4.1 Hrubý popis obchodního modelu

Koncepce navrženého robotizovaného pracoviště pro umělecké řezbářství je vytvořena tak, aby splňovala i podmínky obchodního modelu. Důležitým faktorem tedy je životaschopnost a plnění obchodních funkcí, které přináší nejen dostatek zakázek, ale hlavně množství finančních prostředků ke splácení externích financí a k udržitelnému rozvoji pracoviště.

Je však nutné hned na začátku zmínit, že účel vytvoření a také pohled na celou koncepci návrhu je jiný, než bývá u obdobných robotizovaných pracovišť zapojených do řetězců na sebe navazujících operací v průmyslové výrobě. Tam je hlavním kritériem hodnocení zvýšení produktivity práce pomocí automatizace a robotizace, především pak z pohledu úspor času normovaných operací a také zajištění kvality výroby eliminací chyb lidského faktoru.

Obchodní model navrženého pracoviště je koncipován pro uměleckou sféru. Není zde prvotním předpokladem úspora času, ale spíše jde o požadavek odstranění hrubé lidské práce a pak je také důležitým kritériem přesnost ztvárnění a opracování daného polotovaru při zhotovení uměleckého, nebo designového díla. A to vše bez možných chyb řezby z rukou umělce. Samozřejmě však ani zde nelze opomíjet podmínku finanční životaschopnosti a návratnosti vložených investiční a provozních prostředků.

Obchodní model je koncipován pro několik možností využití robotizovaného pracoviště.

- Vlastní vytvoření digitálního modelu a výroba uměleckého originálu.
- Opakovaná výroba z vlastního již navrženého modelu.
- Opakovaná výroba z naskenovaného modelu (kopie již existujícího díla).
- Výroba hrubých obrysů polotovaru pro externí řezbáře (předpřipravený polotovar).

Hlavním způsobem využití je tedy především vlastní tvorba. Umělec nebo designer vytvoří pomocí SW prostředků digitální model, který se pak přenesení do programu pro výpočet a

plánování drah obrábění a následně robot s frézovací hlavou na základě těchto dat vyfrézuje navržený výrobek. Výstupem může být nejen umělecké dílo, designovaný výrobek, ale také model návrhu výrobku, který se po prověření může využívat v případné sériové výrobě (třeba i v automotive).

Další možností je opakovaná výroba z již navrženého modelu. Tato možnost bude sloužit především pro vytížení pracoviště sériovou výrobou a také z důvodu efektivnějšího zhodnocení předvýrobních a výrobních nákladů.

Podobná možnost využití pracoviště bude také při opakované výrobě již existujícího modelu, který však nebyl vytvořen vlastním návrhem, ale naskenováním existujícího modelu. Zde však je nutné dbát na to, aby nebyla v žádném případě porušena vlastnická práva, jak duševního vlastnictví, tak i různých ochranných známek průmyslových vzorů a možných patentů.

Poslední možností je předpříprava polotovarů v hrubých obrysech děl, která bude externí řezbář, nebo jakýkoliv umělec dodělávat ve vlastním ateliéru. Zde se jedná především o pomoc při zrychlení a zefektivnění jeho práce a také pro usnadnění fyzicky náročných operací v rámci zhotovování uměleckého díla.

#### 4.1.1 Typy výrobků

Navržené pracoviště bude vyrábět výrobky v převážné míře ze dřeva a lehce obrobitelných materiálů. Je možnost přestavět pracoviště i na obrábění kamene, ale to je již poměrně velký zásah do jednotlivých příslušenství k obráběcím technologiím. Především pak způsobu chlazení nástrojů, jiných typů nástrojů a způsobu odvodu třísek, či prachových částic. Tato tematika je natolik obsáhlá, že vytváří jiné podmínky a řešení není proto součástí této diplomové práce.

Hlavním tvůrčím výstupem z výrobního a obchodního hlediska budou tedy různá umělecká díla, jako například umělecké ztvárnění postav, byst, uměleckých motivů, biblických soch a motivů, plastických map a obrazů, ztvárnění kouzelných scénérií, dále pak výroba různých odlévacích forem pro negativní odlévání, designových prvků, jedinečného vyřezávaného nábytku a vyřezávání motivů z oblasti vlnařského prostředí například na čelních stranách sudů. Možnosti jsou omezené jen velikostí dosahu robotu a velikostí a váhy polotovaru. Vesměs se však jedná o větší a složitější výrobky, které nelze zpracovat jak velikostně a také z důvodu zanesení na klasických obráběcích strojích. Prodej těchto tvůrčích děl bude realizováno přes galerie, volným prodejem, přes internet, i přímým zadáním od zákazníka.

Doplňkovým výrobním a obchodním programem, i když z ekonomického pohledu a z pohledu vytížení navrženého robotizovaného pracoviště s velmi důležitým faktorem, bude výroba opakujících se výrobků. Zde se bude jednat o výrobky především designové, pro běžné (i když exkluzivní) použití, dále pak kopie různých designových a uměleckých děl, výzdoby ze dřeva, či měkkých materiálů sloužících pro marketingové a sezónní výrobky (například výzdoba obchodních center v období před Vánocemi, či Velikonocemi), modely aut, motorek, lodí, výrobky a ornamenty pro nábytkářský průmysl, vyřezávaný nábytek v sérii, umyvadla, vany, výrobky do zahrad a další. Tyto výrobky již budou prodávány přes velkoobchody, obchodní řetězce, přes internet i přes přímý prodej objedávajícího zákazníka.

Posledním z výrobním a obchodním programem jsou před-obrobené polotovary. Zde musí být úzká spolupráce s externím umělcem, který předá podklady, nebo požadavky na polotovar a důležitým předpokladem je pak komunikace, či přímá korekce při výrobě. V tomto případě se jedná o sofistikovanější způsob spolupráce a vhodný je především u rozměrově větších a náročnějších děl.

#### 4.1.2 Procesy obchodního modelu

Obchodní model sestává z několika procesů, které se budou lišit v závislosti na možnosti využití výrobního pracoviště a na konkrétních typech výrobků. Obecně bude model obchodní jednotky sestávat z těchto procesů:

- **Proces nákupu vstupní suroviny** - proces bude stejný pro všechny výrobky, ale nákup od jednotlivých dodavatelů bude probíhat obecně, nebo na základě požadavků na konkrétní výrobu.
- **Proces dovozu vstupní suroviny** – dovoz bude buď vlastní, nebo dopravou dodavatele, případně externí dopravou (dle velikosti polotovaru).
- **Proces uskladnění polotovaru** – proces začíná po dovozu suroviny. Skládání se uskuteční pomocí vysokozdvížného vozíku (VZV). Před uskladněním se polotovar na přípravném stole naskenuje a označí skladovým číslem polotovaru. Tato data (číslo a sken) se zanesou do informačního systému provozovny. Poslední operací je uskladnění.
- **Proces předvýrobní přípravy** – tento proces je již u jednotlivých typů výrobků rozdílný. Proces předvýrobní přípravy se skládá ze dvou možných podprocesů. První podproces je zaměřen na *kreativní tvorbu modelu*, což je doménou umělecky zaměřeného tvůrčího pracovníka a druhý možný podproces vychází z možnosti jen kopírování, nebo *skenování vhodného již vyrobeného modelu*. Následné podprocesy jsou již pro všechny výrobky

stejně, tedy převod digitálního modelu do systému CAD/CAM. Důležitým předpokladem pro vygenerování řezných drah nástroje je také podproces spárování modelu polotovaru s vytvořeným, nebo naskenovaným modelem. Až následně pak přichází podproces vygenerování řezných drah a vytvoření kontrolního průběhu obrábění, včetně kontroly kolizí ve virtuálním prostředí.

- **Proces manipulace a upevnění polotovaru v pracovním prostoru** – manipulace s polotovarem je prováděna VZV vozíkem pomocí úvazů na místo upevnění, tedy na desku připevněnou na polohovací zařízení. Následně po obrobení se hotový výrobek přesouvá na konečnou kontrolu, případně ruční dokončovací práce.
- **Proces výroby** – během procesu se provádí veškeré obráběcí operace, jak hrubovací, tak i dokončovací, včetně automatické výměny nástrojů. Tento proces je prováděn průmyslovým robotem s frézovací hlavou. Robot, frézovací hlava a polohovací zařízení jsou řízeny programem pro řízení drah frézování, odladěný již v procesu předvýrobní přípravy.
- **Proces kontroly a dokončení** – proces zahrnuje vizuální kontrolu, přeměření důležitých rozměrů a ruční vyhlazení nedostatků po výrobě a dokončovací práce.
- **Proces skladování hotových výrobků** – jedná se o správné uložení hotových výrobků do doby, než budou expedovány k zákazníkovi.
- **Proces obchodní** – ten zahrnuje nejen marketingové, obchodní a logistické podprocesy, ale také balení výrobku proti poškození.

#### 4.1.3 Materiálový tok

Materiálový tok bude kopírovat jednotlivé procesy a podprocesy. Prostory pracoviště by měly být navrženy tak, aby tok materiálu byl co nejpřímější a bez křížících se uzlů, kde může nastat jednak kolize a jednak může způsobit zpoždění následujícího procesu.

##### **Průběh materiálového toku bude následující:**

Začátek materiálového toku vzniká dovozem polotovarů do prostoru vykládky. Polotovary jsou vysokozdvížným vozíkem složeny na palety, jednotlivě naskládány do manipulačního prostoru, kde se oskenují ručním skenerem a označí skladovým číslem. Po zadání dat do informačního systému se přesunou do skladu polotovarů. Zde jsou uloženy až do doby, kdy je dán požadavek na jejich zpracování. Pomocí úvazů jsou převezeny do výrobního prostoru a upevněny na upínací desku na polohovacím zařízení. Po upnutí nastává zaměření a stanovení nulového bodu. Následně pak už může probíhat výrobní proces obrábění. Po dokončení

výrobního procesu se hotový výrobek uvolní a pomocí úvazů VZV vozíkem přesune na dokončovací stůl, kde je provedena kontrola a dokončovací práce. Následně se hotový výrobek zabalí, připevní na paletu a odveze do skladu hotových výrobků. Zde je uložen až do doby expedice, kdy se spolu s dokumenty (dodacím listem a fakturou) naloží na nákladní automobil a odveze odběrateli.

#### 4.1.4 Časy procesů

Časy jednotlivých procesů lze velmi těžce odhadnout. Budou záležet na náročnosti jednotlivých operací a složitosti vyrobeného díla.

Především proces návrhu modelu spadá pod kreativní práci a nelze ji přesně časově určit, měřit a ani dokonce stanovit jakýmkoliv normami. Tyto časy však nejsou propojeny s procesem výroby, protože se budou dělat nezávisle. Bude možné je provádět z jiného místa s možností externího propojení.

Výrobní proces lze sice vypočítat, ale až na základě vygenerování drah a časů, které budou potřeba pro daný model. K výpočtu je však nutné vlastnit konkrétní CAM systém a tím pádem v současné době, když ještě není k dispozici licence, nelze ani přibližně určit čas v nějakém příkladě. Lze však s určitostí říci, že časy obrábění vzhledem k velikosti polotovarů budou velmi dlouhé. Minimálně však od 4 hodin, po 8 hodin práce a možná i více. Tím pádem přípravné časy přemísťování polotovarů do výroby i samotné upínání polotovaru na upínací desku budou relativně proti výrobním časům zlomkové. Pro upnutí polotovaru a následné uvolnění hotového díla z upínací desky se předpokládá procesní čas přibližně 20 až 30 minut.

Ostatní časy dalších podpůrných procesů, jako přebírání zboží, naskenování, manipulace polotovaru do skladu materiálu, manipulace a převoz na dokončovací práce a uskladnění hotového výrobku, případně expedici, bude moci obsluha bez problému zvládnout v čase výrobního procesu. Proto pro výpočet výkonnosti nebudou důležité a nebudou se řešit.

Tím pádem stěžejní čas celé výroby bude čas procesu výroby. Pro výpočet ceny výrobku se však krom výrobních časů musí přičíst i čas tvorby modelu. Případně i časy pro dokončovací práce na díle.

#### 4.1.5 Pracovníci obchodní jednotky

Funkční koncept navrženého obchodní jednotky potřebuje obsazení všech pozic k jednotlivým procesům. Z důvodu delších časů samotného výrobního procesu, budou i další

procesy souběžně vykonávány stejnými pracovníky, aniž by se narušila kontinuita a efektivnost výroby. Pro obchodní model jsou navrženy tyto pozice:

- Kreativní a umělecký pracovník.
- Technik programování a provozu průmyslového robotu.
- Manipulační dělník.
- Obchodník.

Pokud předpokládáme, že by obchodní jednotka (navržené pracoviště) pracovala v jednosměnném provozu jen v pracovní dny – tedy 40 hodin týdně, tak se jako optimální jeví následující personální obsazení:

- 1 interní kreativní pracovník.
- 1 technik se znalostí robotiky.
- 1 obchodník (bude řešený externě, nebo vykonávána samotným umělcem).

V případě větších nároků na výrobu kreativních výrobků a tím pádem častější proces předpřípravy výroby je možno zaměstnat například další dva externí kreativní pracovníky podle momentální potřeby. A naopak, pokud se ve větší míře budou vyrábět sériové výrobky, bude s velkou pravděpodobností potřeba další pracovník pro obchod a také pro manipulaci a úklid třísek (pilin). Pro náš optimální případ bude uvažováno jen se 2 pracovníky. Samozřejmě ideálně se vzájemnou zastupitelností.

#### **Popis postupu práce kreativního pracovníka (umělce):**

Úkolem kreativního pracovníka (umělce) je vytvořit umělecké dílo nebo designový prvek ve virtuálním prostředí za pomoci navržených SW prostředků. Jsou dva možné způsoby tvorby návrhu. Jednak od začátku, to znamená nakreslit a vymodelovat ve virtuálním prostředí, pomocí SW prostředků, nebo oskenovat nějaký již skutečný model a upravovat jej ubíráním a přidáváním virtuálního materiálu. Výsledný navržený model pak přenést v potřebném formátu pro zpracování v CAD systému a uložit pro další zpracování. Kreativní pracovník může tvořit jednak v prostorách provozovny, nebo vzdáleně v ateliéru, či doma a soubory modelu přenášet přes vzdálený přístup do interního počítače provozovny. Pro dokončení výrobku, či díla by však měl být v prostorách provozovny, případně dokončením pověřit technika.

### Popis postupu práce technika:

Úkolem práce technika robotizovaného pracoviště je převzít navržený model, vygenerovat v CAD/CAM systému dráhy obrábění, provést kontrolu správnosti operací obrábění a kontrolu kolizí. Dalším úkolem je pak složení dovezeného polotovaru, manipulace s ním, jeho skenování, zadávání vstupních a výstupních dat do informačního systému, příprava výrobního prostoru (vymetení pilin), upnutí polotovaru na upínací desku, spuštění robota a řízení drah, kontrola správnosti obrábění, uvolnění hotového díla, převoz na dokončovací práce, samotné provádění dokončovacích prací (může provádět i kreativní pracovník), zabalení, uskladnění hotového výrobku a provádění expedice, včetně vystavení všech dokladů.

## 4.2 Koncepce navrženého pracoviště

### 4.2.1 Návrh prostorů

Celé pracoviště je tvořeno 5 základními prostory. Návrh koncepce je proveden na Obr. 25. Jedná se o prostory:

- skladování polotovarů,
- prostor pro přípravu polotovarů, skenování a pro provádění dokončovacích prací,
- prostor výrobní,
- prostor technické přípravy výroby (dále jen TPV),
- prostor skladování hotových výrobků.

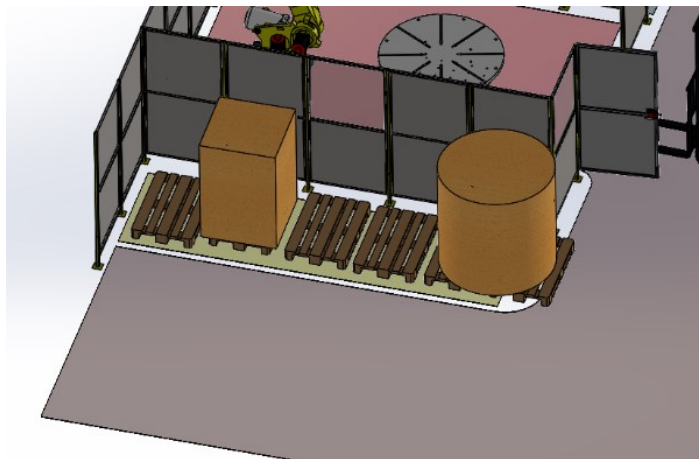


Obr. 25 Návrh koncepce pracoviště



Všechny prostory jsou vzájemně propojeny manipulačními cestami. Celé pracoviště je navrženo tak, aby tok materiálu, výroba i skladování bylo kontinuální, lehce dostupné a také všechny prostory byly pod neustálým dohledem. A to včetně možnosti monitorování pracoviště s dálkovým přenosem

**Prostor skladování polotovarů** je koncipován tak, aby zde bylo možno složit dřevěný polotovár, skladovat jej do doby, než přejde do procesu obrábění, pak skladovat hotový výrobek a naložit jej pro odvoz. Prostor přípravy a skladování je znázorněn na Obr. 26.



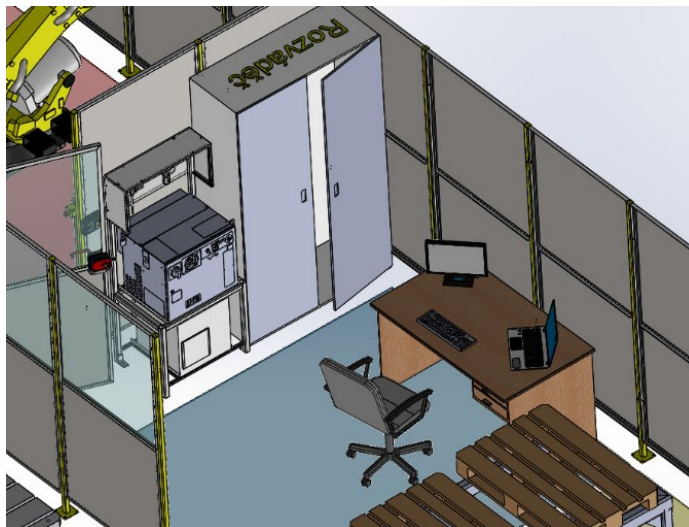
Obr. 26 Návrh prostoru přípravy a skladování

**Prostor výroby** slouží pro samotný proces obrábění. Je vybaven šestiosým průmyslovým robotem s frézovací hlavicí, otočným stolem, filtrací a je ohraničen a zabezpečen proti jakémukoliv vniknutí osob při obrábění. Prostor výroby je znázorněn na Obr. 27.



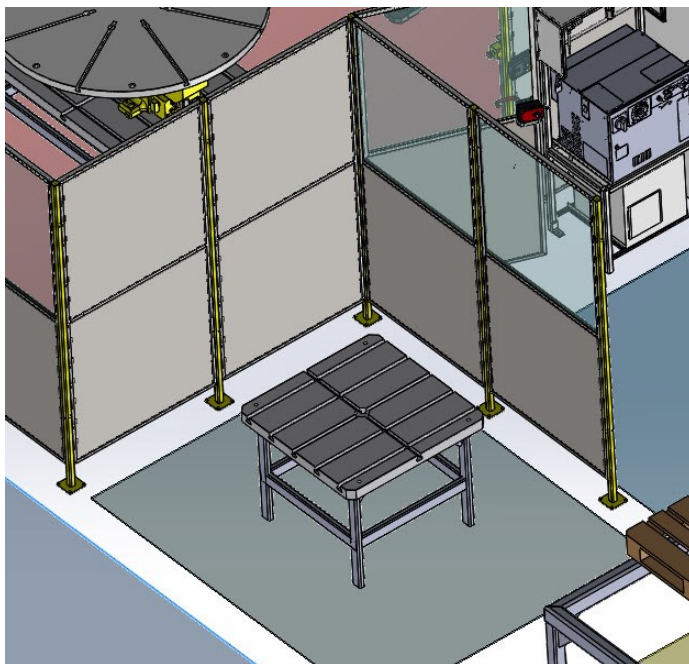
Obr. 27 Návrh výrobního prostoru

**Prostor TPV** je koncipován jako pracoviště s PC a také je upraven k tomu, aby zde mohli být usazeny řídicí prostředky pro správnou funkci robota. Tato místnost je čistá a má prosklené stěny tak, aby bylo možno sledovat jak proces obrábění, tak dohled nad skladem polotovarů a hotových výrobků. Prostor TPV je znázorněn na Obr. 28.



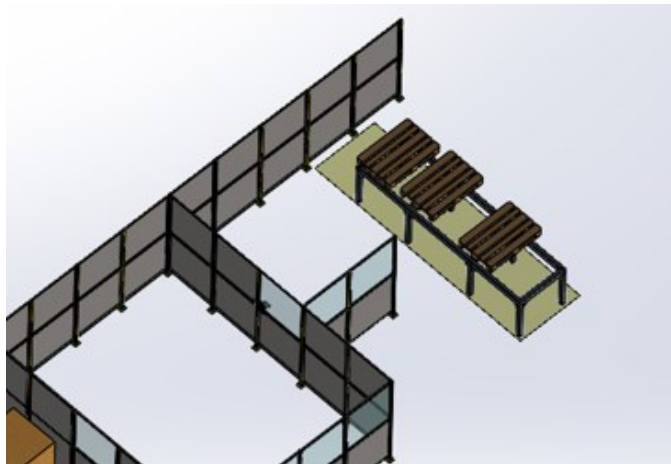
Obr. 28 Návrh prostoru TVP

**Prostor na skenování, kontrolu a dodělavky** je multifunkční prostor, kde obsluha může dělat více operací dle potřeby. Toto pracoviště časově nebude tak vytíženo, jako pracoviště výroby, sousedí bezprostředně s pracovištěm TPV, kde mohou být umístěny všechny potřebné SW a HW komponenty pro skenování. Prostor TPV je znázorněn na Obr. 29.



Obr. 29 Návrh prostoru pro skenování, kontrolu a dodělavky

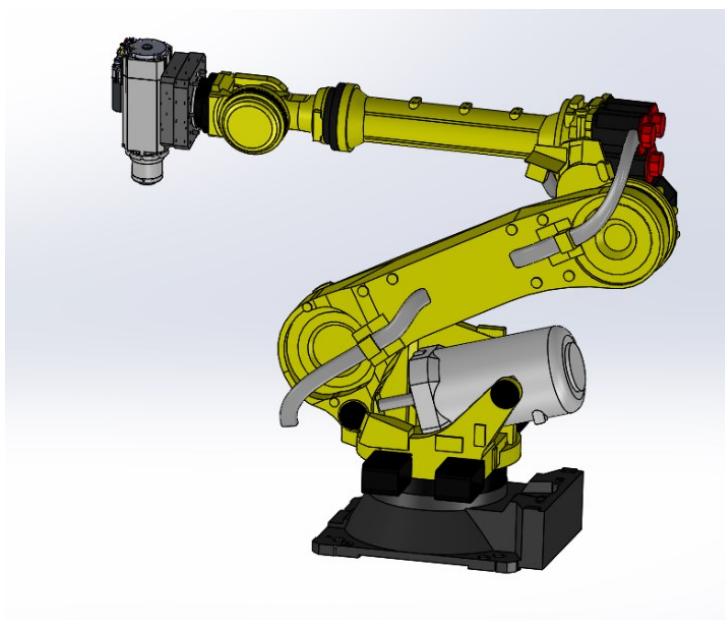
**Prostor pro skladování hotových výrobků** slouží pro ukládání dokončené výroby před expedicí. Prostor skladování hotových výrobků je znázorněn na Obr. 30.



Obr. 30 Prostor skladování hotových výrobků

#### 4.2.2 Navržené technologie a příslušenství

**Základní technologií** navrženého robotizovaného pracoviště je robot s nástavbou ve formě frézovacího vřetene. Důležitým kritériem pro výběr robota musí být jeho dostatečná tuhost a pevnost, aby byl schopen bez chvění zvládnout provádění operace frézování. Průmyslový robot s frézovací hlavou je zobrazen na Obr. 31.



Obr. 31 průmyslový robot s frézovací hlavou

Koncový bod robota tvoří frézovací vřeteno, poháněna elektrickou energií s možností plynulé změny otáček v závislosti na řezných podmínkách jednotlivých nástrojů. Protože

pro dokonalé vytvoření křivek na polotovaru je potřeba použít několik typů fréz a každá ruční výměna představuje ztrátové časy, je pro některé z variant zvolena možnost automatické výměny nástrojů. S touto automatickou výměnou nástrojů je nutně spjata potřeba dokovací stanice, kde si robot nepotřebné nástroje odkládá a v automatickém režimu nasazuje pro danou operaci potřebný nástroj. Stanice držáků nástrojů je navíc osazena snímačem a kalibračním nástrojem. Samotné frézovací vřeteno je chlazeno vodou v uzavřené smyčce a s chladičem.

Pro uchycení polotovaru a také pro možnost natáčení s polotovarem je robotické pracoviště doplněno o externí osu (osy) dle variant. Pokud nejde o manuální (indexovaný) rotační stůl, jsou externí osy řízeny systémem robotu. Tento otočný stůl musí být, stejně jako robot dostatečně tuhý a musí mít na sobě předpřipraven úchytný systém pro snadné a rychlé uchycení polotovaru. Zároveň musí mít i dostatečně dimenzovanou nosnost, aby se mohly na ni upevnit i polotovary větších rozměrů a tím pádem i vyšší hmotnosti. Navržený otočný stůl má nosnost do 1300 kg.

Celé pracoviště bude obsluhováno elektrickým vysokozdvizným vozíkem s bočním posuvem vidlí, aby bylo možno co nejpresněji manipulovat s díly. Toto zdvihací zařízení by mělo splňovat manipulaci s hmotností minimálně 1.500 kg.

Protože obráběním dřeva vzniká odpad ve formě odřezků a pilin, je nutné tento odpad nějakým způsobem z výrobního prostoru odstranit. K tomu bude sloužit výkonný průmyslový vysavač se zásobníkem, kde se budou piliny uskláňovat. Vysavač bude v prostoru obrábění.

Co se týká programovacích prostředků, je nutné rozdělit toto na tři samostatné jednotky, přitom však se vzájemnou kompatibilitou.

- Programové prostředky pro samostatný návrh modelu (CAD systém) a systém pro skenování dílů.
- Programové prostředky pro řízení robotizovaného pracoviště a návrh řezných drah, simulace a samostatné řízení robota (CAM systém).
- Programovací software pro zpracování skenovaných povrchů
- Jako opce je navržen systém Hauptického modelování.

Navržený systém CAD by měl splňovat možnost pracovat co nejjednodušeji s jakýmkoliv bodem modelu. Na trhu je několik software jako např. CATIA, NX, SolidWorks, Autodesk Fusion, Rhinoceros a další.

Pro řízení pohybů frézovacího nástroje je nutné použít speciální program pro řízení, vytvořený speciálně k ovládání robotů. Na trhu jsou v současné době dostupných několik těchto programů. A to Robotmaster, SprutCAM, Octopus, RoboDK, RobotExpert, Tebis a další. Je nutno si dát pozor, jelikož některé programy fungují jako simulátory, i když se tváří jako programovací software.

#### 4.2.3 Shrnutí koncepce navrženého pracoviště

Součástí robotizovaného pracoviště jsou:

- Prostory – přípravný a skladovací, výrobní, kontrolní, řídicí.
- Průmyslový robot s vlastním řídicím systémem.
- Frézovací vřeteno jako koncový bod robota – s programovatelnou regulací otáček.
- Dokovací stanice s držáky nástrojů – automatická výměna nástrojů.
- *Varianty*: Stůl k uchycení polotovaru:
  - ✓ otočný stůl jednoosý s plynulým natáčením,
  - ✓ otočný stůl dvouosý s plynulým natáčením ve dvou osách,
  - ✓ pevný stůl.
- Úchopný systém uchycení polotovaru.
- Vysavač prachu a třísek.
- Programový systém pro tvoření modelu – CAD.
- Programový systém pro řízení drah nástroje – CAM.
- Bezpečnostní prvky.
- *Opce*:
  - ✓ *Hauptoický systém digitálního modelování.*
  - ✓ *Optický, nebo laserový skener.*

Jednotlivé varianty se budou lišit jen typem úchytného stolu a také softwarem jak pro vytvoření návrhu modelu, skenování, a také pro automatizovaný návrh a řízení řezných drah robota. Dále ve variantách bude také příslušenství, včetně navržených opcí.

### 4.3 Logika a časový sled operací navrhovaného pracoviště

Časový sled operací navrhovaného pracoviště lze rozdělit z pohledu dvou samostatné procesů.

- Předvýrobního procesu – návrhu modelu a vygenerování drah obrábění.
- Manipulačního, skladovacího a výrobního procesu – výroba díla frézováním.

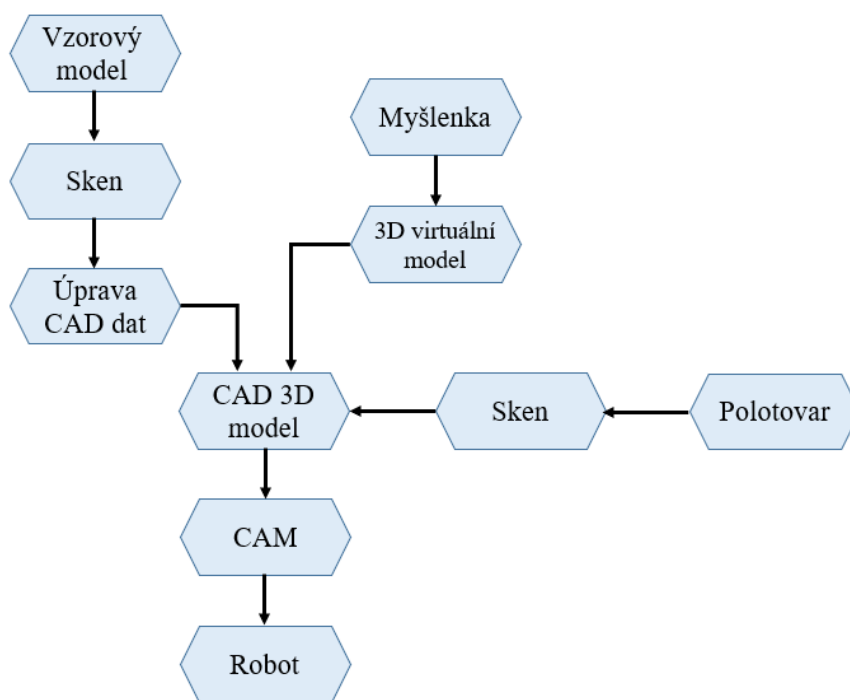
#### 4.3.1 Předvýrobní proces – návrh modelu a řízení drah obrábění

Důležitou částí správného nastavení a průběhu výrobního procesu je jeho předvýrobní proces. Tedy návrh modelu, dílčí úpravy a dokončení návrhu, navržení drah obrábění, off-line simulace, kontrola kolizí, doladění drah frézování a v neposlední řadě samotné řízení při vlastním výrobním procesu.

Tyto dvě základní fáze, tedy návrh modelu (CAD) a řízení pohybu robota (CAM) můžou být řešeny dvěma samostatnými systémy. Ale stejně pak je nutná vzájemná kompatibilita, aby se všechna data přenesla v pořádku. Pro návrh robotizovaného pracoviště byly vybrány dva systémy, které v sobě obsahují oba tyto moduly. Je mezi nimi rozdíl jen v komfortu obsluhy a pak i v ceně.

Pro návrh modelu, který má již skutečné rozměrové parametry, je vhodné k systému pořídit ještě skener, který přenesse přes mapu bodů skutečný tvar do CAD systému, se kterým se dá následně dále pracovat a upravovat jej. Další fáze je pak už jen přenesení dat na dráhy, tvořící pohyb nástroje. V návrhu jsou použity dvě varianty programů pro řízení drah robotů pro obrábění. A to CAD/CAM systém pod názvem ROBOTMASTER a konkurenční pod názvem SprutCAM.

Celkové schéma zapojení řídicího systému robota je vidět na Obr. 32.



Obr. 32 Schéma řízení robota

#### 4.3.2 Manipulační, skladovací a výrobní proces

Materiál ve formě dřevěného polotovaru je přivezen nákladním vozem, či dodávkou přes otvírající se průmyslová vrata do prostoru přípravy a manipulace. Zde je složen pomocí vysokozdvížného vozíku (dále jen VZV vozíku). Následně jsou pak na jednotlivých polotovarech provedeny úpravy pro snadné upnutí, polotovary jsou označeny, naskenovány a zapsány včetně všech dat do systému. Naskenování polotovarů je prováděno z toho důvodu, aby se s modelem polotovaru dalo pracovat v SW pro přípravu díla (CAD), zatímco běží předchozí výroba. Bude tak vytvořena databáze jednotlivých modelů polotovarů a dá se z nich vybírat nejvhodnější pro další dílo. Nebo může být model polotovaru i vstupem pro kreativní návrh díla. Pak už je uložen v prostoru skladu a zde čeká, až bude zařazen do výrobního procesu.

Po pokynu k převozu do výrobního prostoru, je pomocí VZV vozíku a úvazů dopraven polotovar na upínací stůl a zde zafixován pomocí upínek do požadované polohy. Upínací stůl je buď pevný, nebo otočný. Otočný stůl má plynulé natáčení os (jednoosý nebo dvouosý) je řízen jako další stupně volnosti spolu se stupni volnosti ramen robota.

Následně se již využije program pro řízení operace frézování pomocí programu generovaného z CAM systému. Operace frézování se provádí ve dvou fázích. První je většinou hrubovací, kde je vytvořen základní obrys výrobku. Tato operace je prováděna hrubovacími frézovacími nástroji. Je možné použít k formování základních obrysů polotovaru i pilku, ale v tomto případě by bylo nutná výměna i samotného vřetene, které je pro řezání speciálně navržené (nižší otáčky, jiné upevnění nástroje). Tento způsob řezání není pro náš návrh vhodný. Po hrubování pak přichází jemné frézování kulovou frézou. Tímto způsobem je možné zajistit hladké plochy a přesné navázání křivek modelu.

Změny v používaných nástrojích zajistí buď automatická výměna nástrojů (ruční výměna je zdlouhavá a s nutností zásahu lidské práce s dokovací stanicí pro právě nevyužívané nástroje. Tento automatizovaný systém v sobě kromě příslušenství zahrnuje i nutnost speciálních nástavců, senzoru uložení a také naprogramování této operace. Dokovací stanice musí být chráněna proti usedání prachu, jelikož by se mohl usazovat na plochách, za které se upínač spojuje s vřetenem. Zde musí být zajištěna maximální čistota. Hrozí zde nebezpečí vyosení nástroje, což by při použitých otáčkách mohlo vyvolat vibraci vřetene.

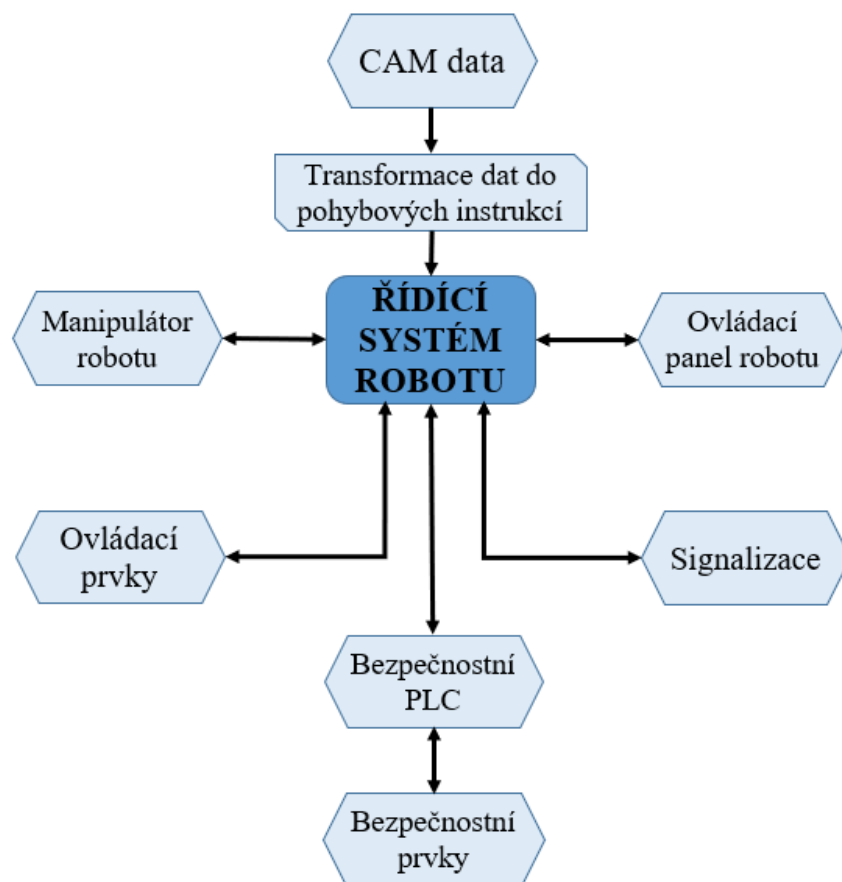
Při samotném procesu obrábění je nutné odvádět prach a piliny vzniklé tímto procesem. To je zajištěno pomocí odsávacího zařízení, jehož hubice je vedena po rameni až k obráběnému místu. Tím se dá odstranit velká část nečistot, které můžou znečistit pohybující se části robota,

což může vést až k poškození. Musí být umístěna tak, aby nevadila jednotlivým pohybům robotu.

Po dokončení procesu frézování je robot naveden do „HOME“ pozice, všechny pohony zastaveny a odblokována brána do prostoru výroby. Model se od upínací desky odjistí a pomocí manipulačního zařízení přesune do prostoru kontroly a následně skladování. Po možných úpravách je pak připraven k naložení a odvozu.

Samostatnou a velmi důležitou kapitolou celého procesu výroby je zabezpečení a samotná bezpečnost prostoru výroby. Toto je zajištěno jednak pevným oplocením s manipulačními dveřmi, které jsou osazeny bezpečnostní klikou, které brání vstupu do prostoru robotu. V případě otevření dveří hlásí čidla přerušení a automaticky zastaví činnost robotu. Pro sekundární zabezpečení pracovního prostoru slouží pohybové senzory, které nahlásí možné nepovolené vniknutí do prostoru a následně provede zastavení robotu, případně urychlené najetí do „home“ pozice.

Na Obr. 33 je zobrazeno schéma řízení robotu.



Obr. 33 Schéma návrhu modelu až realizaci



## 4.4 Navržené technologie

Protože se varianty od sebe liší jen v některých technologiích a opcích, tak z důvodu opakovatelnosti jsou v této podkapitole uvedeny základní technologie, které se ve všech variantách opakují.

### 4.4.1 Robot

Vzhledem k požadavkům na výběr robota pro frézování a splnění základních parametrů byl vybrán robot od firmy **FANUC**, konkrétně **typ R 2000 iC 165 F**. Hlavní výhodou byly nízká energetická náročnost, přesnost, nosnost (nepřímá souvislost s tuhostí a velikostí kroutících momentů v kloubech) a dosah robotu. Důležitou součástí je pak firemní podpora. FANUC má jak školicí, tak servisní středisko přímo v České republice. Je možno samozřejmě vybrat podobné roboty od jiných značek, ale z důvodu kompatibility dalších příslušenství byl vybrán právě tento robot.

Vybraný robot patří do skupiny univerzálních šestiosých modelů řady R-2000 s vysokým užitečným zatížením. Je vybaven štíhlým zápěstím a vzhledem ke schopnosti dosáhnout skvělé doby cyklu se jedná o hbitý robot pro bodové svařování v automobilovém průmyslu, pro různé typy frézování, vrtání a podobné aplikace. Při návrhu bylo zohledněno i optimální využití prostoru. Nejdůležitější data robotu jsou: 6-osý robot s maximálním zatížením na rameni 165 kg a s dosahem 2655 mm. Všechna další technická data k robotu jsou uvedena v příloze č. 2. a v příloze č. 3 jsou pak uvedeny jednotlivé rozsahy robotu v grafickém znázornění.

Robot má nadefinovanou nosnost na přírubě robotu. Čím dále se umístí těžiště vřetene na robotu, tím menší zatížení robot snese. Snaha je proto dostat vřeteno co nejbližší na šestou osu robotu. Graf zatížení kloubu robotu R-2000 iC/165F je zobrazen v příloze č. 4.

#### **Použitá řídicí jednotka u tohoto robotu je R-30iB Plus**

Tato řídicí jednotka robotů je určena k tomu, aby přispívala k snadnějšímu využití robotů a automatizaci ve zpracovatelském průmyslu. Díky flexibilnějšímu vzhledu je uživatelské rozhraní iHMI opatřeno obrazovkou se zvýšeným rozlišením a schopností zpracování. Může zobrazovat průvodce nastavením a programováním, stejně jako výukové programy z hlavní domovské stránky, která má design společný s CNC společností FANUC, což umožňuje snadnější používání robotů. Celkově lze říci, že řídicí jednotky robotů vedou ke zlepšení času cyklu a zvýšení rychlosti a přesnosti. Zobrazení řídicí jednotky robota je provedeno na Obr. 34.



Obr. 34 Řídicí jednotka R-30iB Plus [36]

Řídicí jednotka R-30iB Plus je kompaktní a stohovatelná, má extra inteligentní iPendat Touch, je maximálně úsporná se zvýšenou produktivitou.

#### 4.4.2 Frézovací vřeteno

Pro frézování do dřeva bylo vybráno vřeteno od firmy PDS, konkrétně série XLH z řady XLerator. Jsou to nejoblíbenější motorová vřetena s automatickou výměnou nástrojů. Slouží pro obrábění dřeva, plastu a hliníku. [37]

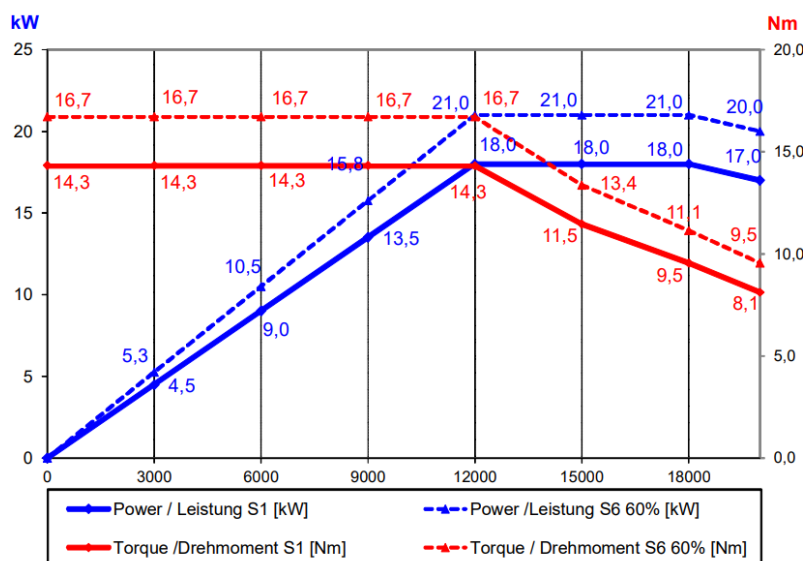
Klíčové parametry jsou:

- Rychlostní rozsah od 6 000 do 24 000 ot./min.
- Elektrický příkon 4,0 - 18,0 kW.
- Držák nástrojů HSK-63 F
- Automatická výměna nástrojů.
- Volba chlazení motoru elektrickým ventilátorem (A) a kapalinou.
- Dlouhý nebo krátký nos vřetena.
- K dispozici s osou C.

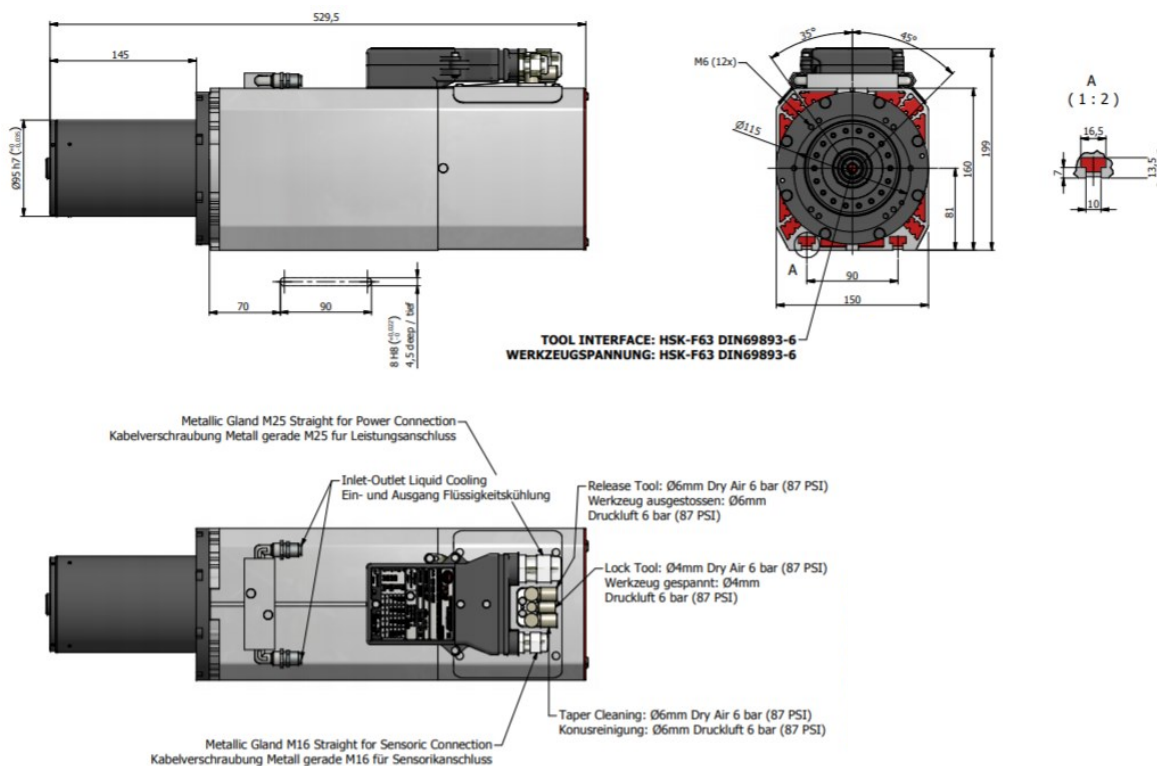
Pro navrhované robotické pracoviště byl vybrán typ XLHS 130 (A102). Parametry navrženého vřetene jsou uvedeny v Tab. 12. Vyobrazení s grafickými charakteristikami vřetene jsou na Obr. 35 a celkové zobrazení frézovacího vřetene XLHS 130 (A102) je na Obr. 36.

Tab. 12 Parametry vřetene XLHS 130 (A102) [37]

Typ	Výkres	Výkon [kW]	Hmotnost [kg]	Napětí [V]	Poláci	Frekvence [Hz]	Rychlost [ot/min]	Způsob chlazení	Kužel nástroje
XLHS130	<u>822-130-A102</u>	18	35	380	4	400 – 667	12 000 - 20 000	Chlazení vodou	HSK-F63



Obr. 35 Graf výkonu včetně v závislosti na otáčkách [37]



Obr. 36 Frézovací vřeteno typ XLHS 130 (A102) [37]

#### 4.4.3 Dokovací stanice pro nástroje

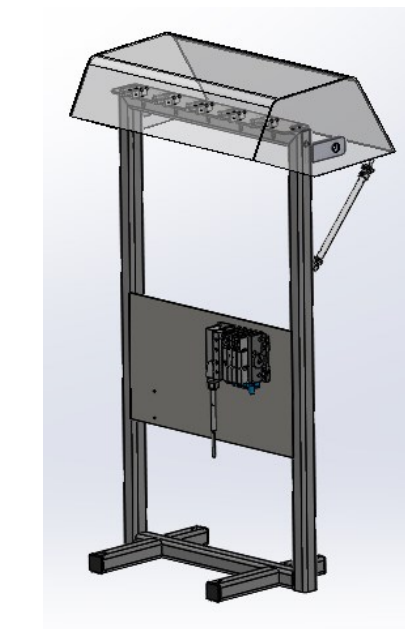
Pro správnou výměnu nástrojů je potřeba připravit dokovací stanici, která by měla mít 10 pozic na odkládání nástrojů v automatickém režimu. Pro potřebu robotizovaného pracoviště

byla vybrána dokovací stanice a komponenty od firmy RicoCNC [38], která je zobrazena na Obr. 37.



Obr. 37 Komponenty dokovací stanice výměny nástrojů [38]

Návrh celkové dokovací stanice je proveden na Obr. 38.



Obr. 38 Celkový návrh dokovací stanice pro automatickou výměnu nástrojů

#### 4.4.4 Polohovadlo

K správnému upnutí a polohování polotovaru je vhodné doplnit k robotu ještě polohovadlo, tedy otočný stůl. Z důvodu lepší kompatibility byly vybrány možnosti od stejného výrobce, jak je robot, tedy od firmy Fanuc. Pro jednotlivé varianty byly vybrány tři různé typy polohování.

- Jednoosé polohovadlo (plynulé otáčení kolem jedné osy).
- Dvouosé obloukové polohovadlo (možnost plynulého pohybu ve dvou osách).
- Indexovaný otočný stůl (není řízené, možnost ručního natočení).

##### Jednoosé polohovadlo

Jednoosé polohovadlo patří k základním typům polohování polotovaru. Je zde zajištěno polohování pouze v jedné ose - otáčením stolu. Tato osa je řízena motorem, takže se vlastně robotickému systému přidává další stupeň volnosti a frézovací hlava, nebo konkrétně nástroj na obrábění se pak snadněji dostává i na ta nejproblematictější místa.

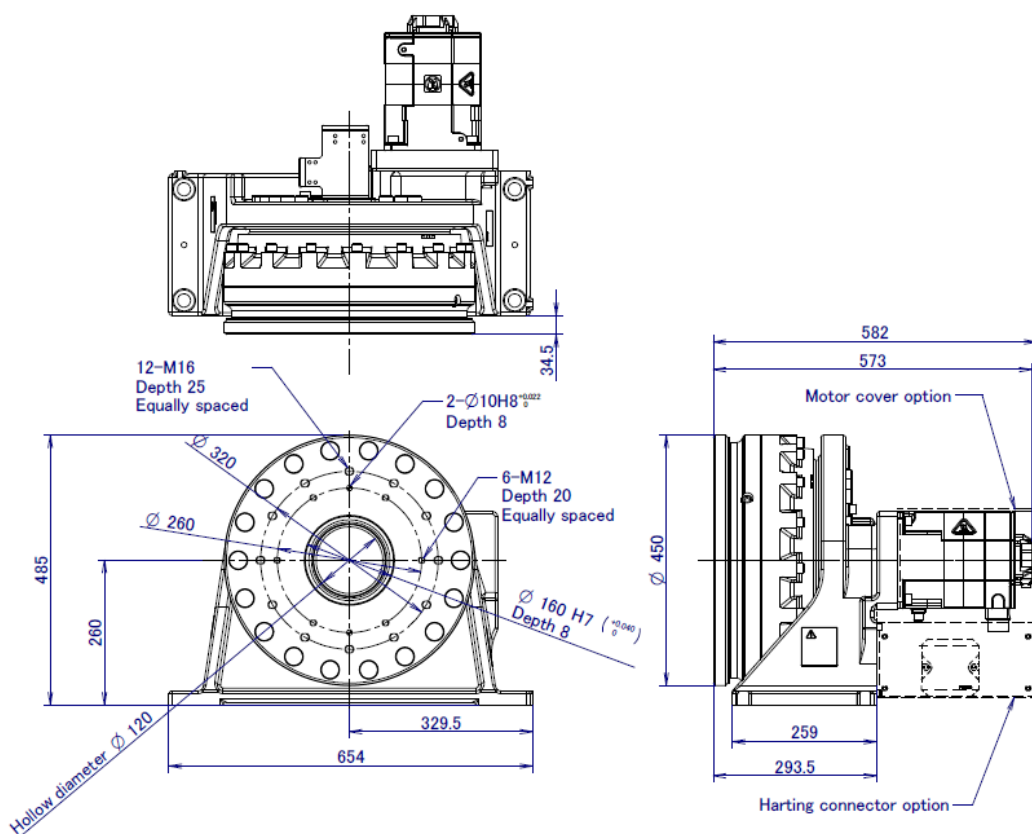
Pro náš konkrétní případ bylo vybráno jednoosé polohovadlo od firmy Fanuc, které je zobrazeno i s parametry na Obr. 39.



Užitečné zatížení až 1.500 kg,  
rozsah J1 740°,  
rychlost J1 130°/s,  
moment 2920 Nm,  
setrvačný moment J1 360 kgm<sup>2</sup>,  
opakovatelnost 0,05 mm,  
hmotnost 88 kg.

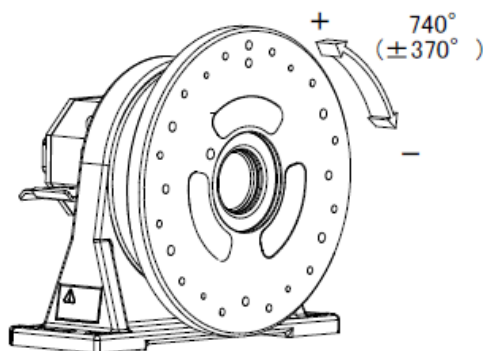
Obr. 39 Jednoosé polohovadlo [39]

Jelikož průměr upínací desky polohovadla je „pouze 450 mm), což nedostačuje k upínání požadovaných polotovarů, musí být ještě na stůl přidána upínací deska s patřičným průměrem a možností upnutí polotovarů. Základní rozměry polohovadla jsou uvedeny na Obr. 40.



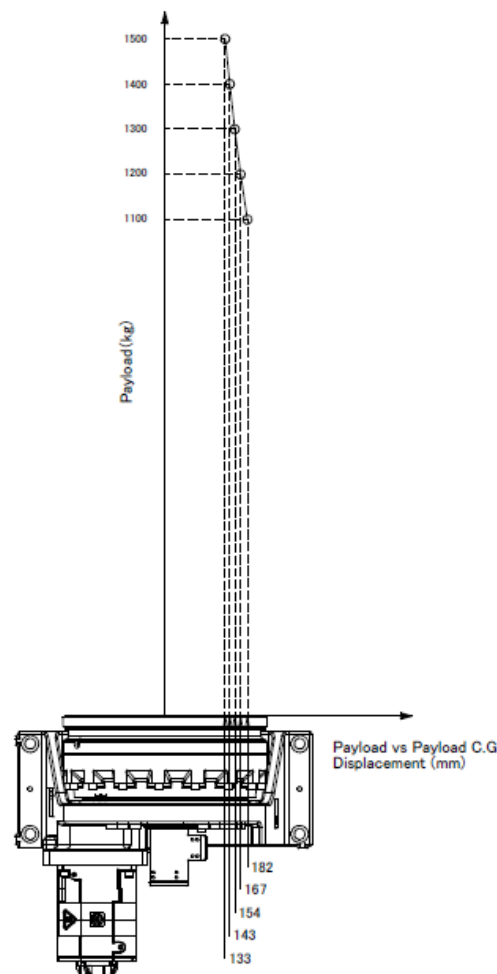
Obr. 40 Základní rozměry polohovadla. [39]

Na Obr. 41 je znázorněna možnosti natočení osy



Obr. 41 možnost natočení osy u jednoosého polohovadla [39]

U polohovadla, které je řízeno pomocí motorů je důležité, aby byl polotovar upnut v těžišti. Pokud totiž není správně vyvážen, snižuje se nosnost polohovadla. Na Obr. 42 je graficky znázorněna závislost nosnosti polohovadla na vychýlení těžiště mimo osu polohovadla.



Obr. 42 Závislost nosnosti jednoosého polohovadla na vychýlení těžiště [39]

### Dvouosé obloukové polohovadlo

Dvouosé polohovadlo je již více sofistikovanější, protože jak již z názvu vyplývá, dovede polotovar orientovat kolem dvou os. Přesto že se přesnost nastavení polohy snižuje tím, že je tam další řízená osa, zvyšuje se optimalizace polohy nástroje vůči obrobku a v některých případech i dosah do míst, které by byly jinak nepřístupné. V našem případě, kdy je použitý robot se 6 stupni volnost, polohovadlo s 2 stupni volnosti, to dává již celkově 8 stupňů volnosti, což již splňuje rozsah pro ty nejnáročnější operace, jako je například svařování, ale i náročnější obrábění složitých a členitých dílců. Na Obr. 43 je zobrazeno dvouosé polohovadlo i s parametry.



Dokonalá flexibilita s břemeny do 500 kg.

Užitečné zatížení 500 kg, rozsah J1 270°, rozsah J2 480°, rychlost J1 120°/s,

rychlost J2 190°/s, moment J1 1764 Nm, moment J2 686 Nm,

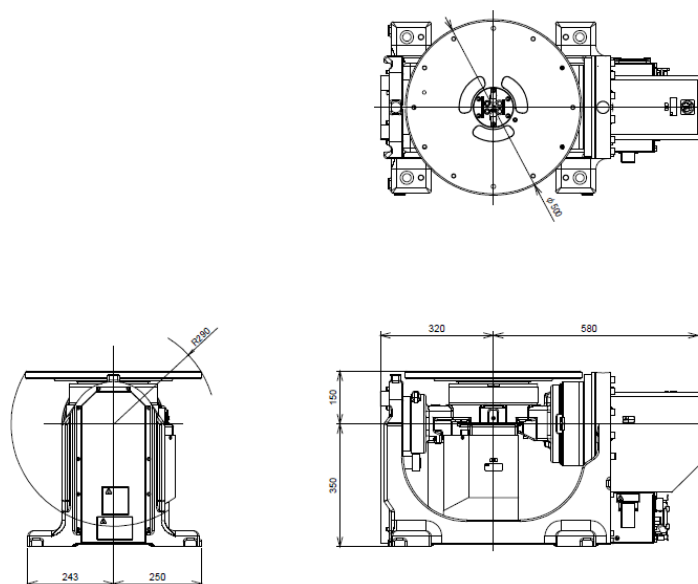
setrvačnost J1 300 kgm<sup>2</sup>,

setrvačnost J2 300 kgm<sup>2</sup>,

opakovatelnost 0,05 mm, hmotnost 295 kg.

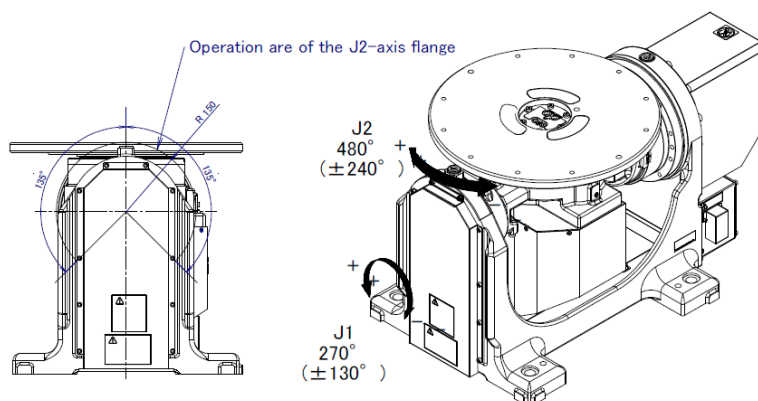
Obr. 43 Dvouosé polohovadlo [39]

Jelikož průměr upínací desky polohovadla je pouze 500 mm, což nedostačuje k upínání požadovaných polotovarů, musí být ještě na stůl přidána upínací deska s patřičným průměrem a možností upnutí polotovarů. Základní rozměry polohovadla jsou uvedeny na Obr. 44.



Obr. 44 Rozměry dvouosého polohovadla [39]

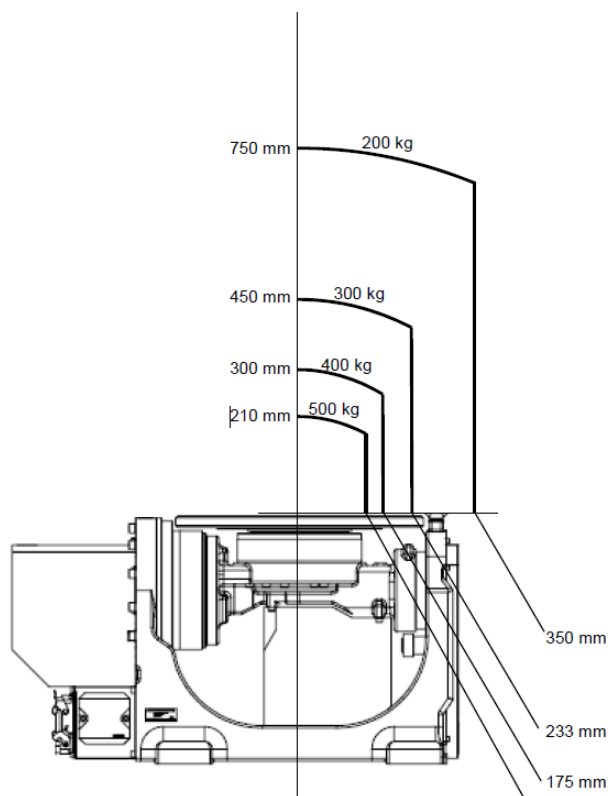
Možnosti natočení externích os u dvouosého polohovadla jsou znázorněny na Obr. 45.



Obr. 45 Možnosti natočení externích os u dvouosého polohovadla [39]



U polohovadla, které je řízeno pomocí motorů je důležité, jak je polotovar upnut v těžišti. Pokud není správně vyvážen, snižuje se nosnost polohovadla. Na Obr. 46 je graficky znázorněno posunutí těžiště od osy dvouosého polohovadla a tím snížení nosnosti daného polohovadla.



Obr. 46 Závislost nosnosti dvouosého polohovadla na vychýlení těžiště [39]

V Tab. 13 jsou uvedeny přípustné momenty zatížení a setrvačnosti zatížení pro obě osy dvouosého polohovadla.

Tab. 13 Přípustný moment zatížení a setrvačnosti u dvouosého polohovadla [39]

Přípustný moment zatížení	J1 osa	180 kgf·m ( 1764 N·m)
	J2 osa	70 kgf·m ( 686 N·m)
Přípustná setrvačnost zatížení	J1 osa	3 061 kgf·cm·s <sup>2</sup> (300 kg·m <sup>2</sup> )
	J2 osa	1 020 kgf·cm·s <sup>2</sup> (100 kg·m <sup>2</sup> )

### **Indexovaný otočný stůl**

Indexovaný otočný stůl je další varianta pro upínání a směřování polohovadla. Otáčení se provádí ručně, takže nelze využít jako další řízený stupeň volnosti. Není to jednodušší varianta, jelikož pro každé otočení se musí dělat nová rovina v programování a nový nulový bod, který

je nutné vždy po otočení zaměřovat. Je tam navíc možnost chyby a tím nenapojení ploch v správném místě. Přesto je to jen nejlevnější varianta v počáteční investici.

Navržený indexovaný otočný stůl **INDEXA-SEIKI SOPP 315** [40] je dodáván s odpojitelným šnekovým kolem, což umožňuje rychlé indexování. Jedna otáčka kličky vyvolá otočení prstence o 4 úhlové stupně. Stůl je vyroben z vysoce jakostní litiny. Může pracovat jako indexovací jednotka i jako konvenční otočný stůl při obrábění s kruhovou interpolací, vyvrtávání nebo nastavování úhlů apod. Volitelné dělicí kotouče dodáváme na zvláštní objednávku. Indexovaný otočný stůl je zobrazen na Obr. 47.

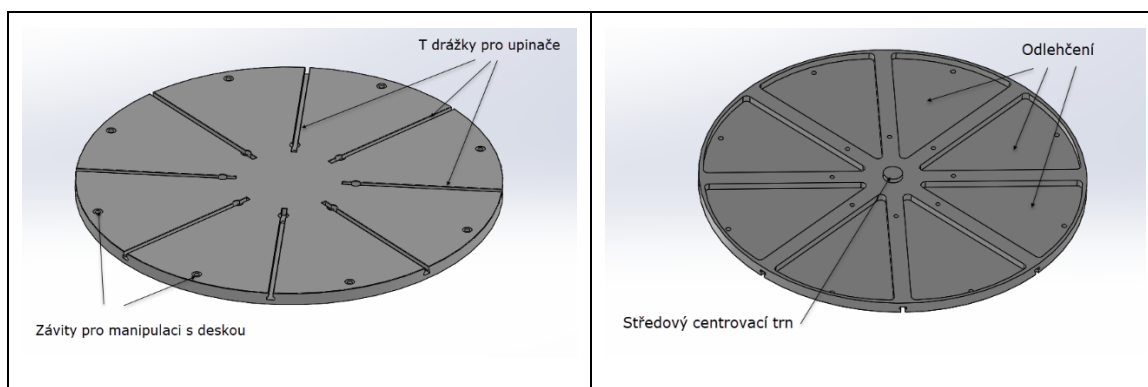


Přesnost:  
 Rovnoběžnost upínací plochy se základnou:  
 0,020 mm.  
 Rovinnost upínací plochy:  
 0,015 mm.  
 Excentricita středového válcového otvoru:  
 0,020 mm.  
 Excentricita středového kuželového otvoru:  
 0,020 mm.  
 Kolmost upínací plochy ke středové drážce:  
 0,010 mm.

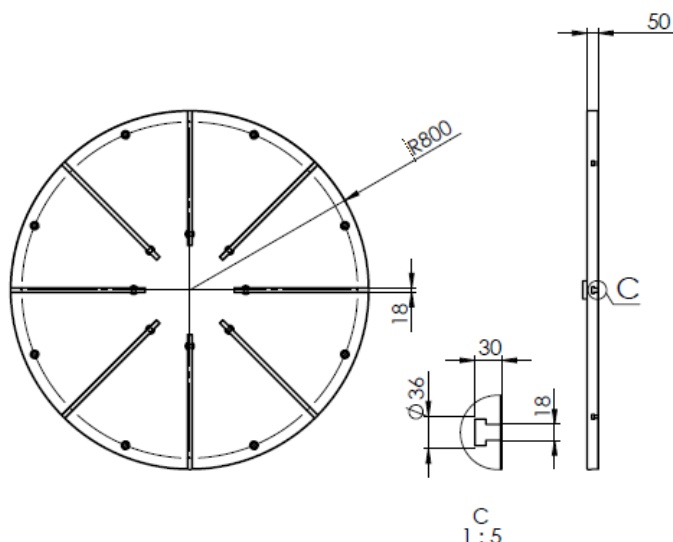
Obr. 47 Indexovaný otočný stůl [40]

### Upínací deska pro polohovadla

Protože polohovadla mají menší průměr upínacího kotouče, je pro navrhované a upínané rozměry polotovarů nutno vyrobit upínací desku, která tento nedostatek odstraní. Upínací deska musí být vyrobena z lehkého materiálu, aby co nejméně zatěžovala rotační osu, musí být ale i povrchově upravena proti otěru. Polotovary, které se budou upínat by mohly měkký povrch poškodit. Na Obr. 48 je v 3D znázorněn návrh upínací desky a na Obr. 49 jsou uvedeny základní rozměry.



Obr. 48 Upínací deska v 3D



Obr. 49 základní rozměry upínací desky

#### 4.4.5 Manipulační zařízení

Původně bylo uvažováno s kladkou na koleji k dopravě polotovarů a hotových výrobků do prostoru výroby. Po důkladném zvážení je nejvhodnějším řešením elektrický vysokozdvížený vozík s bočním posuvem vidlí. Tento vysokozdvížený vozík je ekologický, může se pohybovat i v uzavřených prostorech, aniž by vypouštěl škodliviny a je dostatečně přesný pro potřeby zakládání polotovarů i odvoz hotových dílů. Navíc je jej možno použít i na skládání polotovarů z dopravních prostředků, manipulací mezi vstupním skladem – výrobou – kontrolou – výstupním skladem. V neposlední řadě i pro naložení hotových zabalených dílů na dopravní odvoz.

Značka a typ vozíku bude záležet na momentální nabídce, přesto je potřeba dodržet základní popis, uvedený v předešlém odstavci. Na Obr. 50 je zobrazen navržený vysokozdvížený vozík.



Obr. 50 Vysokozdvížený vozík [41]

#### 4.4.6 Bezpečnost

Bezpečnost celého pracoviště je jeden z nejdůležitějších bodů návrhu, realizace a samotného provozování robotizovaného pracoviště. V návrhu pracoviště je nutné se zaměřit na dvě oblasti zajištění bezpečnosti. Je to:

- prostor obrábění – odletující třísky,
- prostor člověk/robot,
- manipulační prostor,
- prostor kontroly a dokončení.

##### **Prostor obrábění – odletující třísky**

Ve výrobním prostoru bude docházet k třískovému obrábění, kde vznikají jak větší třísky, tak i prach, který je třeba odsát. Větší třísky mohou od nástroje odlétat do větší vzdálenosti, celé výrobní pracoviště musí mít pevné oplocení. V potřebných místech je možno nahradit plech průhledným bezpečnostním plastovým průhledem.

Pevné oplocení nám řeší i zamezení možného úrazu při poškození nástroje (např. jeho zlomení).

##### **Prostor člověk/robot**

Prostor výroby u robotu musí být zabezpečen tak, aby při automatickém cyklu nemohlo dojít k ohrožení člověka. Prostor je uzavřen pomocí oplocení a bezpečnostních zámků.

Vnitřní prostor musí být vybaven systémem umožňujícím v kterýkoliv okamžik opustit prostor a zastavit automatický proces. Nebezpečí uzavření obsluhy třetí osobou v prostoru obrábění musí být vyřešeno tak, aby při spuštění automatického cyklu bylo z místa spouštění vidět do všech míst prostoru. Dále musí být po dobu min. 10 sekund zapnuto výstražné světlo a zvukový signál, aby osoba v prostoru robotu měla dostatečný čas k zastavení automatického spuštění a opuštění prostoru. Navíc jsou v pracovním prostoru instalovány senzory pohybu.

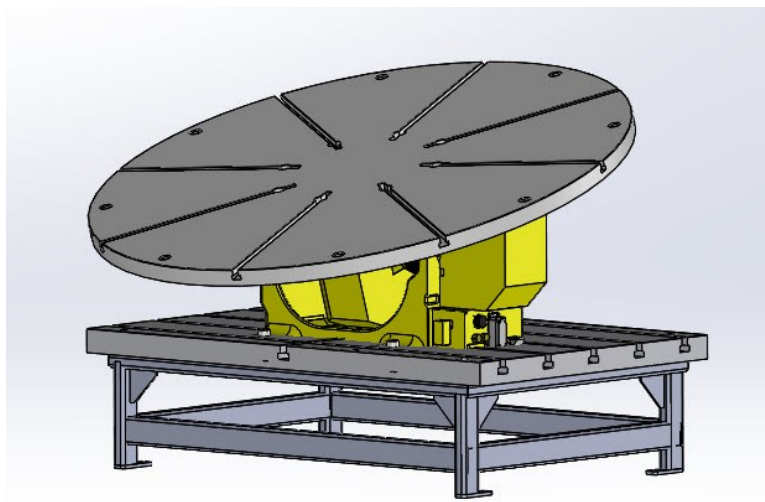
#### 4.5 Varianty návrhu řešení

Pro rozhodování o nejoptimálnějších řešeních budou vytvořeny 3 varianty. Tyto varianty budou zhodnoceny jednak po technické stránce, ale také po ekonomické stránce. Všechny varianty budou mít společně vybraný 6-osý robot včetně příslušenství, vybrané frézovací hlavy a zabezpečení výrobního prostoru. Ve variantách bude proměnná pouze polohovadlo

s vhodným stolem a upínací deskou. Řídící systém (CAD/CAM) pro řízení drah a SW pro návrh a modelování bude řešen jako obce vybrané varianty.

#### 4.5.1 Varianta A

Varianta A je složena z Top technologií a měla by sloužit jako nejvýkonnější a nejpřesnější robotizované pracoviště, kde podíl lidské práce bude nejmenší a dvouosé polohovadlo zajistí i dostatečnou přesnost a rychlost obrábění. Robotizované pracoviště bude samozřejmě také investičně nejnáročnější. Pro co nejlepší využitelnost pracoviště, dosahu robotu je navrženo dvouosé polohovadlo, které je upnuté na stole. Sůl je ukotven do podlahy. Při této variantě je možno využít dvou přídavných os pro naklonění dle technologicky nejvhodnější pozice. Další možností je polohovadlo odmontovat, čímž je možno upnout i rozměrnější a těžší díl přímo na stůl. Sice tím ztratíme možnost rotačních os, ale podstatně zvýšíme dosah a nosnost. Rozšíříme tím využití pracoviště. Nevýhodou dvouosého polohovadla je omezená nosnost na 500 kg. Ukázka navrženého stolu, dvouosého polohovadla a desky je uvedena na Obr. 51, schéma se základními rozměry pak v příloze č. 5



Obr. 51 Sestava stůl, dvouosé polohovadlo, deska

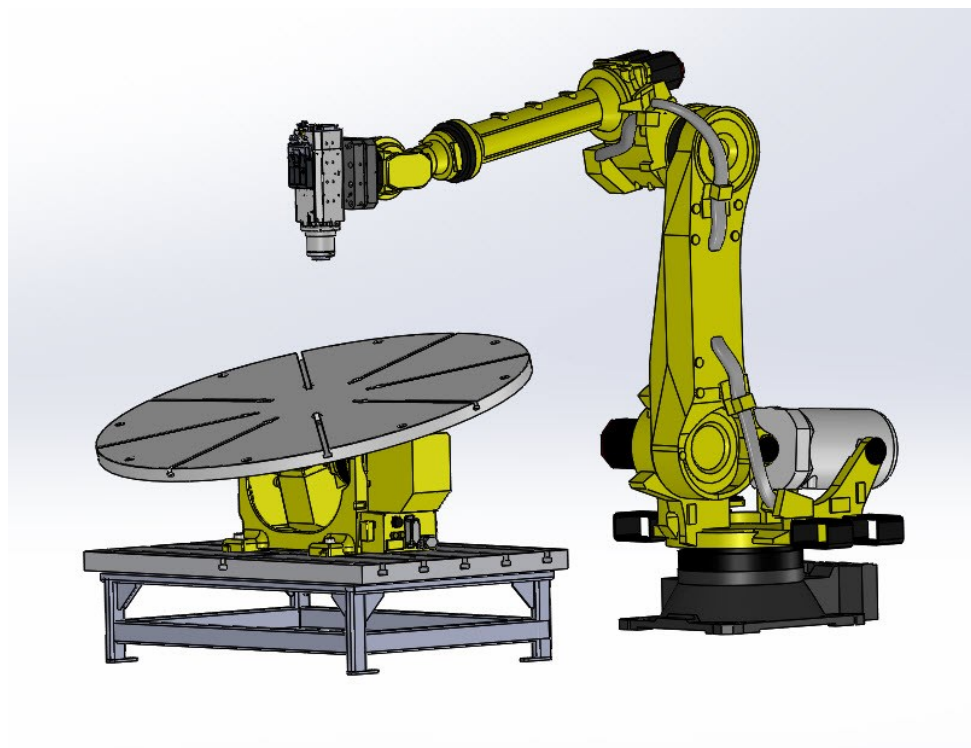
#### **Koncepce varianty A pracoviště**

Varianta A je tvořena:

- Dvě technologické možnosti.
  - ✓ Pevný stůl.
  - ✓ Dvouosé polohovadlo.
- Průmyslový robot R-2000iC/165F s interním řídicí jednotkou R-30iB Plus.

- Frézovací vřeteno firmy PDS typ XLHS 130 (A102) s automatickou výměnou nástrojů typu HSR 63F.
- Dokovací stanice s držáky nástrojů – automatická výměna nástrojů.
- Otočné dvouosé polohovací zařízení Fanuc s plynulým natáčením ve dvou osách a s upínací deskou zvětšenou na 1 600 mm, nosnost max 500 kg.
- Úchopný systém uchycení polotovaru.
- Vysavač prachu a třísek.
- Bezpečnostní prvky - pracovní prostor je ohraničený plotem, s bezpečnostním blokovacím zámekem na dveřích pro vstup (vjezd VZV vozíkem) do pracovního prostoru, se stop tlačítky (před vstupem, přímo v pracovním prostoru a v prostoru velínu) a konečně se senzory pohybu v pracovním prostoru.

Grafické znázornění návrhu koncepce robotu a polohovadla varianty A je na Obr. 52.



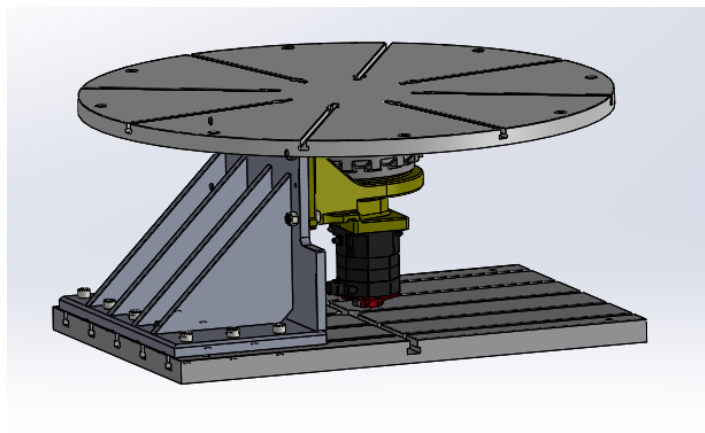
Obr. 52 Koncepce varianty A

#### 4.5.2 Varianta B

Varianta B je složena ze stejných technologií jako varianta A, jen s tím rozdílem, že na místo dvouosého polohovadla je použité pouze jednoosé polohovací zařízení. Co se týká přesnosti a výkonnosti robotizovaného pracoviště, je nutné počítat s možností jednoduššího natáčení polotovaru a tím možnost většího zatížení.

Z důvodu snazšího dosahu robota na polotovaru je navrženo upnutí jednoosého polohovadla na stůl. Stůl je ukotven do podlahy. I při této variantě je možno využít přidavnou osu pro natočení dle technologicky nejvhodnější pozice.

Další možností je polohovadlo odmontovat, čímž je možno upnout i rozměrnější a těžší díl přímo na stůl. Sice se tím ztratí možnost rotační osy, ale podstatně se zvýší hlavně nosnost polotovaru. Rozšíří se tím využití pracoviště. Výhodou jednoosého polohovadla je jeho nosnost, a to až na 1.500 kg při plně synchronním pohybu s robotem. Návrh upevnění jednoosého polohovadla na stůl je proveden na Obr. 53, schéma se základními rozměry pak v příloze č. 6.



Obr. 53 Sestava stůl, jednoosé polohovadlo, deska

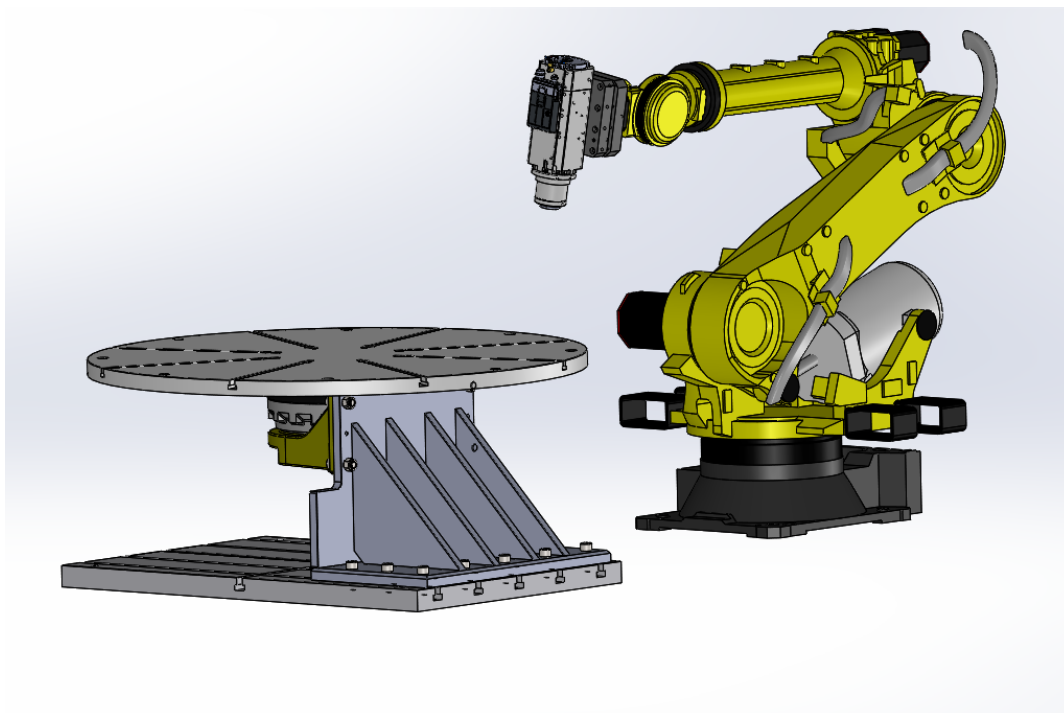
### **Koncepce varianty B pracoviště**

Varianta B je tvořena:

- Dvě technologické možnosti.
  - ✓ Pevný stůl v úrovni země.
  - ✓ jednoosé polohovadlo.
- Průmyslový robot R-2000iC/165F s interním řídicí jednotkou R-30iB Plus.
- Frézovací vřeteno firmy PDS typ XLHS 130 (A102) s automatickou výměnou nástrojů typu HSR 63F.
- Dokovací stanice s držáky nástrojů – automatická výměna nástrojů.
- Otočné jednoosé polohovací zařízení Fanuc s plynulým natáčením v jedné ose a s upínací deskou zvětšenou na 1 600 mm, nosnost 1 300 kg.
- Úchopný systém uchycení polotovaru.
- Vysavač prachu a třísek.
- Bezpečnostní prvky (viz varianta A).



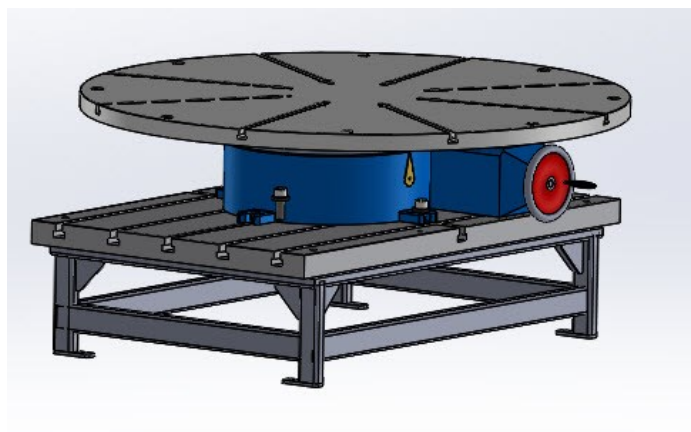
Grafické znázornění návrhu koncepce varianty B je na Obr. 54.



Obr. 54 Koncepce varianty B

#### 4.5.3 Varianta C

Také varianta C je složena ze stejných technologií jako varianta A nebo B, jen s tím rozdílem, že se jedná o ekonomickou variantu, a tak řízené polohovací zařízení je nahrazeno ručním indexovým natáčením polotovaru. Stejně tak výměna nástrojů bude ruční a odpadne tak dokovací stanice. Programování drah frézování bude také na obsluze proto přípravné práce a doladování řídicího programu bude hodně náročnější a zdlouhavější a bude vyžadovat neustálou asistenci a kontrolu obsluhy. Návrh upevnění indexovaného polohovadla na sůl je proveden na Obr. 55, schéma se základními rozměry pak v příloze č. 7.



Obr. 55 Sestava stůl, indexované polohovadlo, deska

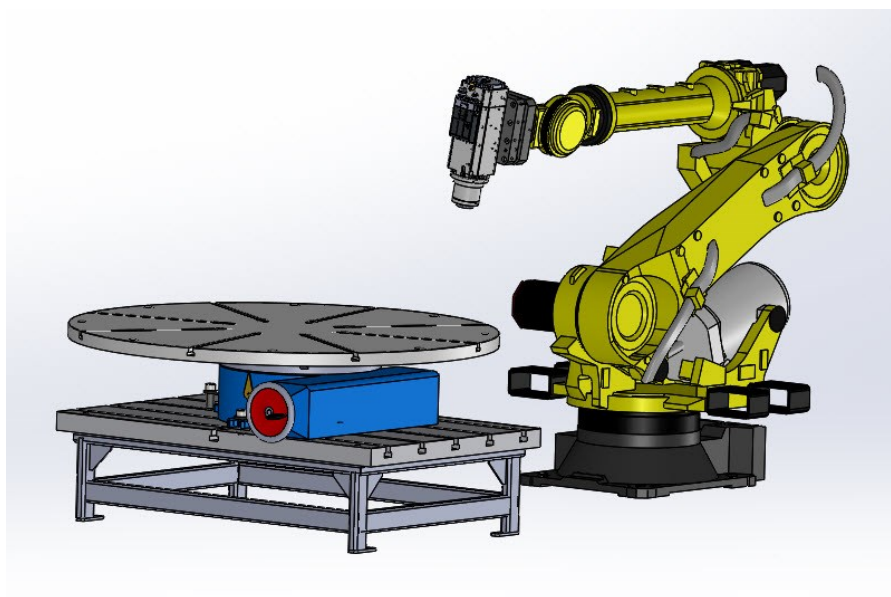


### **Koncepce varianty C pracoviště**

Varianta C je tvořena:

- Dvě technologické možnosti.
  - ✓ Pevný stůl.
  - ✓ jednoosé ruční polohovadlo.
- Průmyslový robot R-2000iC/165F s interním řídicí jednotkou R-30iB Plus.
- Frézovací vřeteno firmy PDS typ XLHS 130 (A102).
- Indexovaný ruční otočný stůl INDEXA-SEIKI SOPP 315.
- Úchopný systém uchycení polotovaru.
- Vysavač prachu a třísek.
- Bezpečnostní prvky (viz varianta A).

Grafické znázornění návrhu koncepce varianty B je na Obr. 56.



Obr. 56 Koncepce varianty C

#### **4.5.4 Cenová kalkulace všech variant pracoviště**

Cenová kalkulace je čistě orientační. Po výběru vhodné varianty se kalkulace upřesní provedenou poptávkou. V kalkulaci jsou uvedeny jen investiční náklady, není zde zahrnuta cena za pronájem prostor ani úpravy, protože budou u všech variant stejné. V tab. 14 je proveden výpočet investičních nákladů na pořízení dle jednotlivých variant. Je zde uvedena jak cena celková, včetně všech opcí, tak i cena bez opcí, ale se základním CAD/CAM programem, který je pro samotnou práci důležitý. Ostatní opce, především HW a SW pro tvorbu a

modelování modelů lze nahradit službou specializovaných firem, které jsou schopny objekt naskenovat, programově upravit a případně i upravovat dle požadavků zadavatele.

Tab. 14 Investiční náklady jednotlivých variant

	Varianta A	Varianta B	Varianta C
<b>Cena celkem</b>	<b>5 187 500 Kč</b>	<b>5 037 500 Kč</b>	<b>4 717 500 Kč</b>
<b>Cena bez opcí</b>	<b>4 775 000 Kč</b>	<b>4 625 000 Kč</b>	<b>4 305 000 Kč</b>
Robot R-2000iC/165F s řídicí jednotkou R-30iB Plus	1 380 000 Kč	1 380 000 Kč	1 380 000 Kč
Frézovací vřeteno firmy PDS typ XLHS 130 (A102)	160 000 Kč	160 000 Kč	160 000 Kč
Otočné dvouosé polohovací zařízení Fanuc	500 000 Kč		
Otočné jednoosé polohovací zařízení Fanuc		350 000 Kč	
Indexovaný ruční otočný stůl INDEXA-SEIKI SOPP			30 000 Kč
Lednice pro chlazení okruhu vřetene	70 000 Kč	70 000 Kč	70 000 Kč
Dokovací stanice s držáky nástrojů–výměna nástrojů.	65 000 Kč	65 000 Kč	65 000 Kč
Oplocení	120 000 Kč	120 000 Kč	120 000 Kč
Vybavení TPV	60 000 Kč	60 000 Kč	60 000 Kč
CAD	185 000 Kč	185 000 Kč	185 000 Kč
CAM	700 000 Kč	700 000 Kč	700 000 Kč
Vybavení kontroly a dokončování	45 000 Kč	45 000 Kč	45 000 Kč
Stavební úpravy	150 000 Kč	150 000 Kč	150 000 Kč
Manipulace - vysokozdvizný vozík	280 000 Kč	280 000 Kč	280 000 Kč
Rozvody energií	60 000 Kč	60 000 Kč	60 000 Kč
Odsávání špón (vysavač + kabeláž)	35 000 Kč	35 000 Kč	35 000 Kč
Vybavení skladů (regály)	60 000 Kč	60 000 Kč	60 000 Kč
Elektroinstalace	180 000 Kč	180 000 Kč	180 000 Kč
Pneumatika	80 000 Kč	80 000 Kč	80 000 Kč
Konstrukční práce	150 000 Kč	150 000 Kč	150 000 Kč
Bezpečnostní prvky	80 000 Kč	80 000 Kč	80 000 Kč
Montáž	170 000 Kč	170 000 Kč	170 000 Kč
Programování logiky pracoviště	180 000 Kč	180 000 Kč	180 000 Kč
Školení obsluhy	65 000 Kč	65 000 Kč	65 000 Kč
<i>Opcce:</i>			
<i>Skener</i>	<i>96 250 Kč</i>	<i>96 250 Kč</i>	<i>96 250 Kč</i>
<i>SW rydlo</i>	<i>55 000 Kč</i>	<i>55 000 Kč</i>	<i>55 000 Kč</i>
<i>SW Vx moderler</i>	<i>178 750 Kč</i>	<i>178 750 Kč</i>	<i>178 750 Kč</i>
<i>SW Sculpt</i>	<i>82 500 Kč</i>	<i>82 500 Kč</i>	<i>82 500 Kč</i>

Z tabulky jasně vyplývá předpoklad, který byl jasný již při návrhu jednotlivých variant. Finančně nejvýhodnější bude varianta A, kde je použito dvouosé polohovadlo. Varianta B s jednoosým polohovadlem bude přibližně o 150 000 Kč levnější. Nejjednodušší varianta jen s indexovaným otočným stolem bude pak o dalších 320 000 Kč levnější.

Pro výpočet návratnosti investic je počítáno s vytižením pracoviště pouze v pracovní dny (5 dnů v týdnu) a s jednosměnným pracovním dnem (8 hodin/den).

### **Varianta A**

Celková pořizovací cena varianty A má hodnotu 5 187 500 Kč, respektive 4 775 000 Kč bez obce tvorby modelu. Pokud budeme počítat s tím, že hodinová sazba bude 600 Kč/hod, tak návratnost investičních nákladů bude 4,5 roku, respektive 4,1 roku bez opcí. Pokud bude snaha investiční náklady zaplatit během 3 let, pak musí být hodinová sazba stanovena na hodnotu 900 Kč/hod, respektive na hodnotu 829 Kč/hod.

### **Varianta B**

Pokud bude vybrána varianta B, tak její celkové pořizovací náklady budou mít hodnotu 5 037 500 Kč, respektive 4 625 000 Kč bez obce tvorby modelu. Pokud budeme počítat s tím, že hodinová sazba bude 600 Kč/hod, tak návratnost investičních nákladů bude 4,4 roku, respektive 4,0 roku bez opcí. Pokud bude snaha investiční náklady zaplatit během 3 let, pak musí být hodinová sazba stanovena na hodnotu 875 Kč/hod, respektive na hodnotu 803 Kč/hod.

### **Varianta C**

Pokud bude vybrána varianta C, tak její celkové pořizovací náklady budou mít hodnotu 4 717 500 Kč, respektive 4 305 000 Kč bez obce tvorby modelu. Pokud budeme počítat s tím, že hodinová sazba bude 600 Kč/hod, tak návratnost investičních nákladů bude 4,1 roku, respektive 3,7 roku bez opcí. Pokud bude snaha investiční náklady zaplatit během 3 let, pak musí být hodinová sazba stanovena na hodnotu 824 Kč/hod, respektive na hodnotu 747 Kč/hod.

### **Ekonomické shrnutí**

Z ekonomických výpočtů vyplývá, že pokud nebude potřeba velmi přesného nastavení polotovaru vůči nástroji, tak varianta B je naprosto postačující a je levnější než varianta A. Poslední varianta C je sice nejlevnější variantou, ale v rámci dosahu robota a nástroje jde o dost komplikovanější nastavení. Lze sice ručně polohovat natočení obrobku vůči robotu, ale je tím značně snížena produktivita práce (nutnost zastavení cyklu, zajištění robota do počátečního bodu a otevření zabezpečení vstupu obsluhy, a v neposlední řadě také neustálá přítomnost obsluhy).

Jestliže tedy budeme hodnotit a vybírat varianty na základě ekonomiky s přihlédnutím k technické vyspělosti, **nejvhodnější varianta se jeví varianta B**. Tedy náklady vůči výkonům je nejpríznivější.

Co se týká opcí, rozdíl v návratnosti není až tak veliký. A hlavně pořízení opce z důvodu samostatné kreativity při modelování a nezávislosti na drahých specializovaných firmách jasně **dává doporučení k přiřazení této opce k ucelenému procesu**.

#### 4.5.5 Vzájemné posouzení variant a volba řešení výrobního prostoru

Byly vytvořeny tři varianty výrobního prostoru pro robotizovaného pracoviště na obrábění dřevěných modelů. Koncept všech variant je stejný a liší se jen polohovacím zařízením. Přesto jsou u jednotlivých variant značné rozdíly u investičních nákladů.

**První varianta A** se spíše hodí pro malosériovou výrobu lehčích modelů (omezení nosnosti polotovaru na 500 kg), protože má dobře propracované polohování - dvouosé polohovací zařízení. Nástroj proto v každé pozici může mít téměř dokonalý sklon pro obráběnou křivku a může tak zajistit plynulý přechod s velikou rozměrovou přesností. Ale samozřejmě tato výkonnost je zaplacená zvýšenými investičními náklady, což pro rozjezd robotizovaného pracoviště je z pohledu investora náročné.

**Druhá varianta B** je o něco levnější, než u varianty A. Tako skutečnost je vykoupena jednodušším jednoosým polohovacím zařízením, která má ovšem podstatně vyšší nosnost. Nemůžeme sice natáčet druhou externí osou, ale dosah robotu nám umožňuje poměrně slušné vykrytí prostoru. Z hlediska programování je jednodušší zaměření nulového bodu polotovaru, i celého pracoviště z pohledu postprocesoru CAM systému. Navíc navrženým navrženou koncepcí stolu pod polohovacím zřízením lze v případě větší nosnosti polotovarů usadit polotovar po odmontování polohovadla přímo na stůl. Sice se sníží stupeň volnosti systému o jednu pohyblivou a říditelnou osu, ale ve výjimečných případech to může být dobrá varianta.

**Třetí varianta C** je už velmi prostě vybavena. I když základní cenu tvoří stejný velmi kvalitní robot, jako u předešlých variant, ostatní příslušenství je velmi nevykonné. Jde především o ruční natáčení polotovaru, což se může dít i několikrát při obrábění, aby se neobrobená část polotovaru natočila k robotu. Je nutno dělit programy na jednotlivé celky, kde při natočení může dojít k nepřesnostem při posouvání nulového bodu dílce a tím se může vnést nepřesnost napojení ploch u dílů. Jde tedy o variantu, která vnáší do procesu ohromnou nejistotu, protože neumožňuje automatické natáčení, tedy plně automatické vytvoření navrženého díla.

### **Rozhodnutí o nejoptimálnější variantě**

Po odborné analýze se **jako nejvhodnější variantou jeví varianta B**, protože poskytuje nejvíce optimálních možností pro využití robotizovaného pracoviště v poměru cena/výkon. A pokud se investice rozloží na několik let, může dojít vytížením stroje k daleko rychlejší návratnosti, než se na první pohled zdá. Už z toho důvodu, že naskýtá více možností využití a daleko vyšší výkonnosti a kvality. Důležitým kritériem výběru varianty byla také specifikace požadavkového listu na maximální hmotnost polotovaru, případně i hotového výrobku. Toto kritérium splňovaly jen varianty B a C. Bohužel právě varianta C nesplňuje další požadavek. Tedy, že neumožňuje automatické vytvoření navrženého díla. Ruční otáčení polotovaru vnáší do procesu ohromnou nejistotu.

## **4.6 Výběr variant opcí**

Pro návrh uceleného robotického systému k výrobě uměleckého řezbářství do dřeva je nutné se zabývat i opcemi, které zautomatizují nejen kreativitu a návrh modelu, ale pomůže zautomatizovat i řízení drah obrábění a potřebným HW a SW ulehčí a vytvoří standard pro správný chod pracoviště.

### **HW a SW pro skenování**

Z provedené analýzy možností a dostupných prostředků bylo provedeno rozhodnutí, že pro práci skenování a následného zpracování **bude nejvýhodnější vybrat roční skener Go!SCAN SPARK spolu se SW VX model pro reverzní inženýrství.**

### **SW pro CAD**

Z hlediska propojení jednotlivých SW možností a dostupnosti servisní podpory včetně provázaností jednotlivých modulů **byl vybrán systém SolidWorks.**

### **SW pro programování robotu**

Ve vývoji nejdál a s nejvíce propracovanými možnostmi programování robotů **byl vybrán systém Robotmaster** s napojením na CAM systém pro tvorbu drah Mastercam. Jde o spojení, kde Mastercam má přímo modul Mastercam for SolidWorks, Robotmaster je do Mastercam integrován. Jde tedy o ideální spojení, kdy programátor nemusí přepínat jednotlivé SW, ale pracuje de facto pod jedním systémem.

Robotmaster je v současné době nejsložitějším SW pro programování robotů, Navíc je intuitivní a velmi jednoduchý k naučení i obsluhu.

**SW a HW pro modelování**

pro modelování modelu **byla vybrána kombinace Haptic hardware se softwarem Geomagic Sculpt**. Jde o jednu z nejreálnějších možností virtuálního modelování, které se nejvíce blíží ručnímu modelování z hlíny tak, jak jsou sochaři zvyklí. Sculpt je velmi intuitivní a nevyžaduje předchozí zkušenosti s 3D programy.

**Výběr opcí**

Vybrané opce v podobě HW a SW budou jako možnosti přiřazeny k vybrané variantě a uvedeny v detailním návrhu vybraného pracoviště.

## 5 Detailní návrh vybraného pracoviště

Jako nejvýhodnější varianta na základě analýz a možností, které jsou v nynější době na trhu, se jeví varianta B. To znamená robot značky FANUC s nosností 165 kg, včetně s výměnnými nástroji a zásobníkem na 5 nástrojů, základní stůl, na kterém je upnuto jednoosé polohovací zařízení. Vřeteno je s výměnou nástrojů pomocí držáků nástrojů HSK F63. Pracoviště je oploceno pevným oplocením s průhledy pro kontrolu procesu obrábění. Vřeteno má odsávání prachu přímo na robotu u vřetene. Větší třísky se musí pravidelně zametat a ukládat do připravených vaků, které se uloží ve skladu na vhodné místo. Samotný robot je proti adhezivnímu prachu chráněn rukávem s mírným přetlakem vzduchu.

TPV je vybaveno SW SolidWorks s možností skenování dílů a polotvarů pomocí skeneru Go!SCAN 3D a software pro reverzní inženýrství VXmodel. Pro kreativní tvorbu soch softwarový modelovací systém Geomagic SCULPT s hardwarovou simulací modelování Haptickým zařízením Geomagic umožňují prostorovou orientaci a pomocí silové zpětné vazby reálný pocit modelování z definované hmoty. Pro programování drah robotu je vybrán systém Robotmaster s podporou Mastercam. Pracoviště TPV je vybaveno počítačem s dvěma obrazovkami. Toto počítačové pracoviště bude využíváno pro CAD přípravu, tak i pro programování robotu. Další nedílnou částí je pracoviště kontrol, kde je možno díl uložit, zkontrolovat případně dokončit. Součástí celku je myšleno i na skladování a manipulaci.

Velký důraz je kladen na bezpečnost, celé pracoviště splňuje harmonizované normy EU.

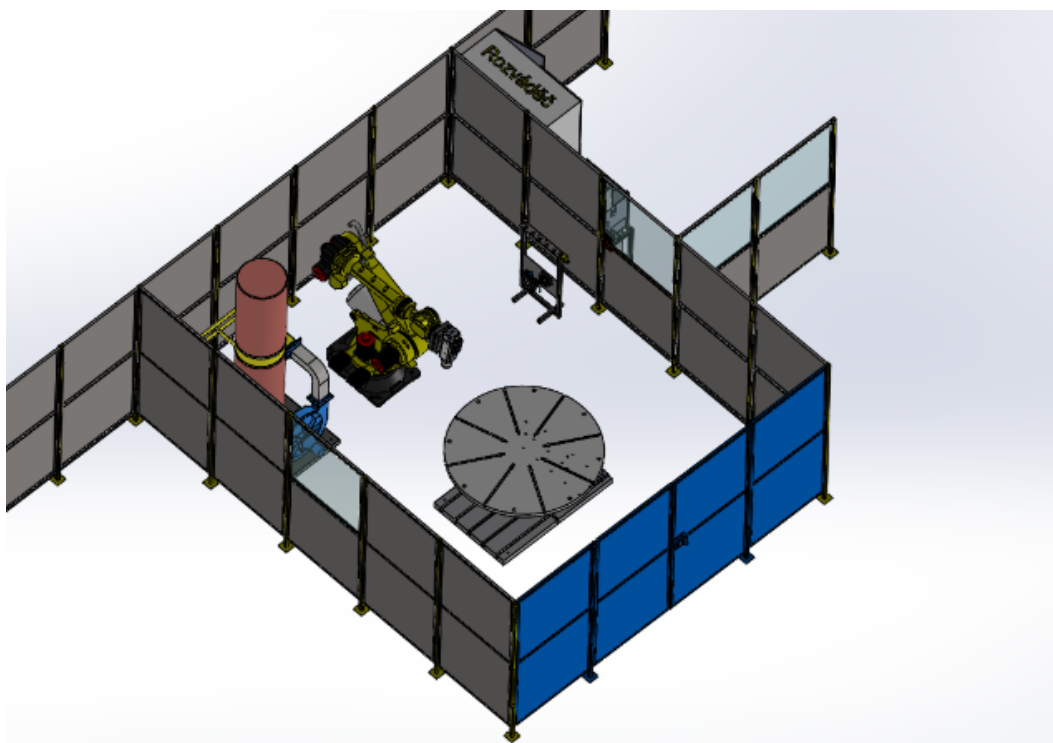
### 5.1 Konstrukce pracoviště

Pracoviště je navrženo tak, aby se nemuselo vyrábět velké množství různých komponentů a mohlo se tak poskládat jen z těch dostupných a nakoupených celků a dílů, spojením tvořící plně funkční celek. Hlavním dodavatelem je firma FANUC, na základě jejího robotu a polohovadla je pracoviště založeno. Oplocení je modulové, aby bylo co nejméně variant pro montáž. Konstrukce byla kreslena v systému SolidWorks 2017.

#### 5.1.1 3D model

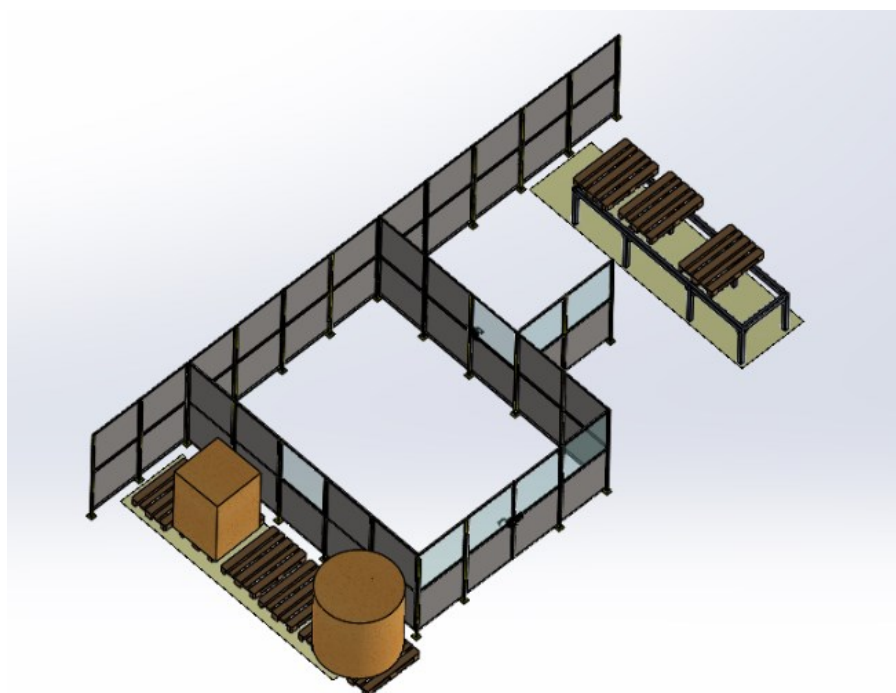
Na 3D modelu je znázorněno rozmístění výrobního prostoru vybrané varianty.

Toto znázornění je zobrazeno na Obr. 57.



Obr. 57 Navržený 3D model vybraného výrobního pracoviště

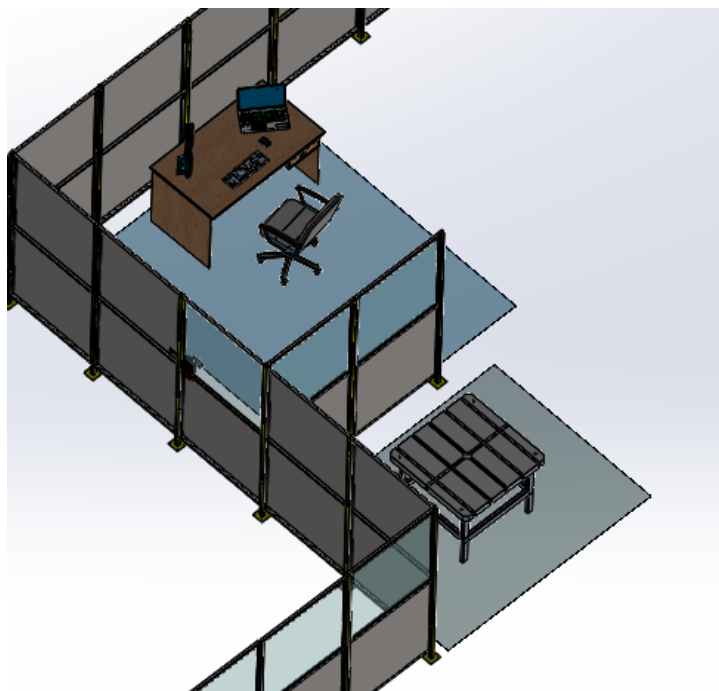
Další 3D znázornění, tentokrát návrh vstupního a výstupního skladu, je zobrazeno na Obr. 58.



Obr. 58 Navržený 3D model vstupního a výstupního skladu

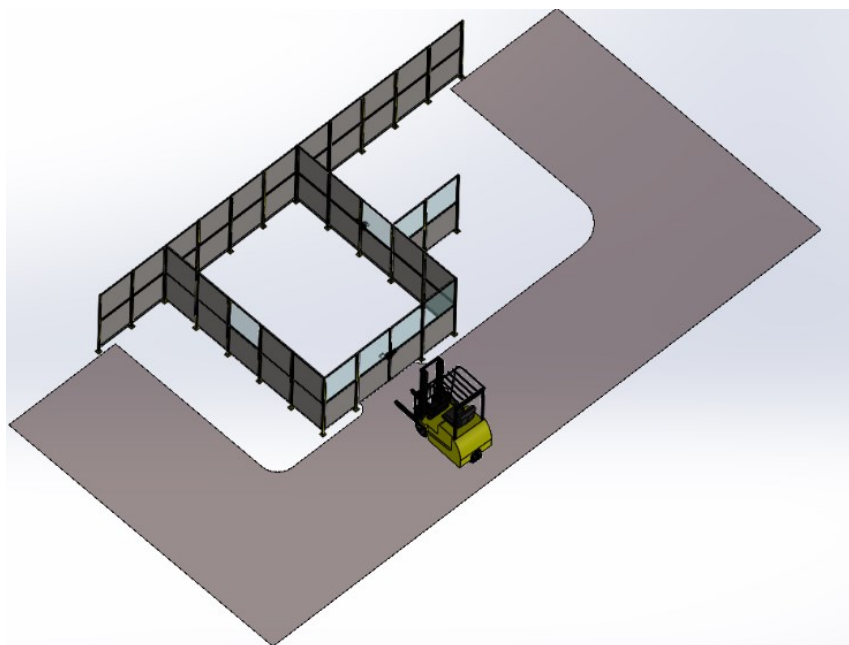


3D znázornění pracoviště TPV a kontroly je zobrazeno na Obr. 59.



Obr. 59 Navržený 3D model pracoviště TPV a kontroly

Prostor komunikačních cest ve 3D znázornění zobrazen na Obr. 60.



Obr. 60 Navržený 3D model prostoru komunikačních cest

Návrh celkového rozmístění všech pracovišť v 3D zobrazení je uveden na Obr. 61.



Obr. 61 Navržený 3D model celkového uspořádání všech pracovišť

### 5.1.2 Layouty a rozměrová schémata pracoviště

Celé pracoviště včetně výrobní, přípravné, řídicí, skladovací a manipulační části by půdorysně mělo zabírat prostor 18 x 9 metrů. Konkrétní prostorové rozložení bude řešeno pouze u výrobního prostoru, protože ostatní prostory nejsou z pohledu důležitosti uspořádání tak důležité a jednotlivé komponenty lze umístit v podstatě libovolně a jde s nimi i přesouvat dle potřeb.

#### **Výrobní pracoviště obsahuje:**

- Robot značky FANUC s nosností 165 kg.
- Vřeteno s výměnnými nástroji.
- Zásobník na 5 nástrojů.
- Vysavač s hubicí k odsávání prachu přímo na robotu u vřetene.
- Základní stůl, na kterém je upnuto jednoosé polohovací zařízení.
- Pevné oplocení s průhledy pro kontrolu procesu obrábění.
- Bezpečnostní prvky, celé pracoviště splňuje harmonizované normy EU.

Rozmístění a kóty jsou uvedeny na Obr. 61.

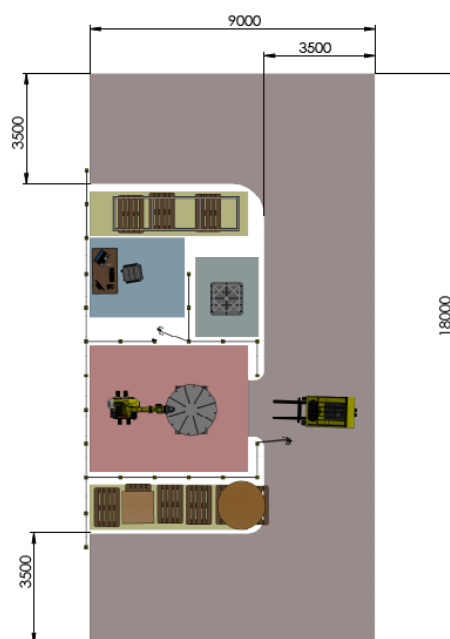
**Pracoviště TPV je vybaveno:**

- Počítač s dvěma obrazovkami.
- Skenovací zařízení dílů a polotvarů sken Go!SCAN 3D.
- SW SolidWorks.
- SW pro reverzní inženýrství VXmodel.
- SW pro kreativní tvorbu soch Geomagic SCULPT.
- Hardwarová simulace modelování Haptickým zařízením Geomagic.
- Robotmaster s podporou Mastercam.
- Pracoviště kontrol ke kontrole ručnímu dokončení. Součástí celku je myšleno i na skladování a manipulaci.

**Pracoviště manipulace a skladování je vybaveno:**

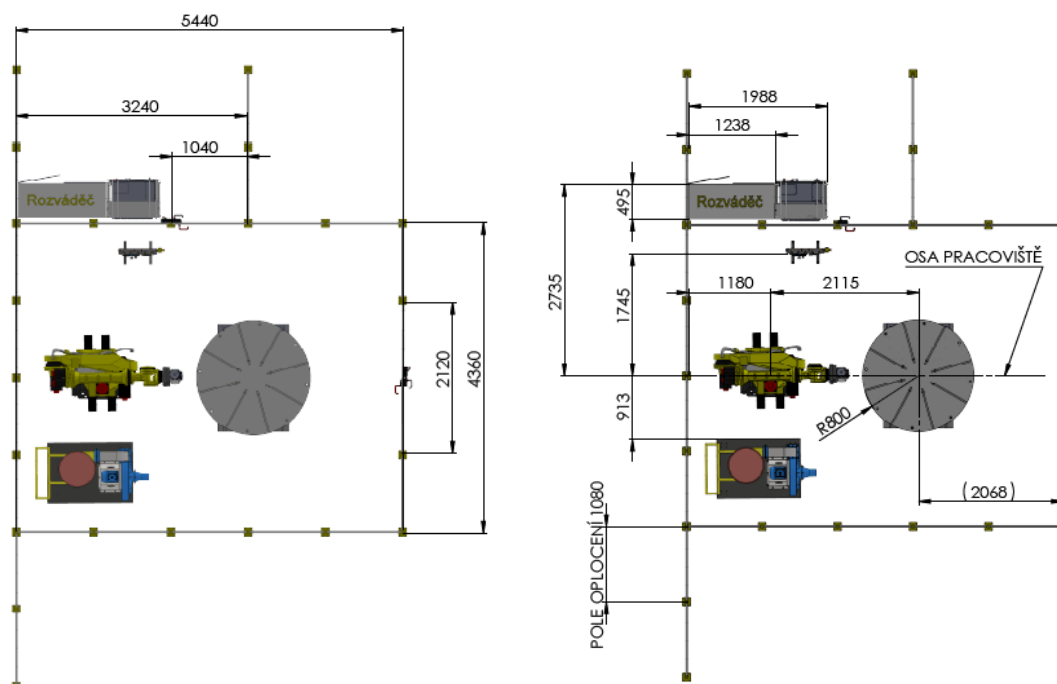
- Skladovací regály.
- Vysokozdvizný vozík.

Rozměrová schémata navrženého pracoviště jsou uvedena v přílohách č. 8 – č. 11. Jsou tam jednak schémata půdorysného rozmístění výrobního prostoru a pak i rozměrová schémata upínací desky pro vybranou variantu, tedy k jednoosému polohovačů. Na Obr. 62 je proveden návrh celého pracoviště.



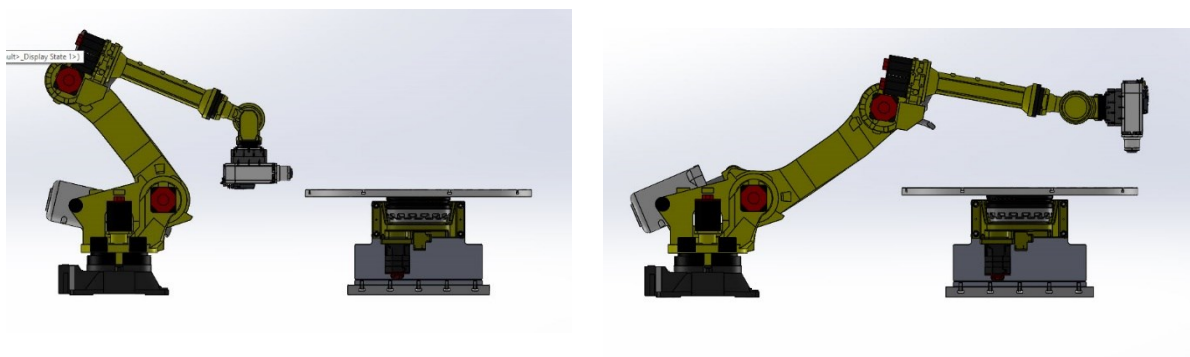
Obr. 62 Půdorys celého pracoviště

Na Obr. 63 je zobrazeno rozměrové schéma výrobního pracoviště se základními kótami.



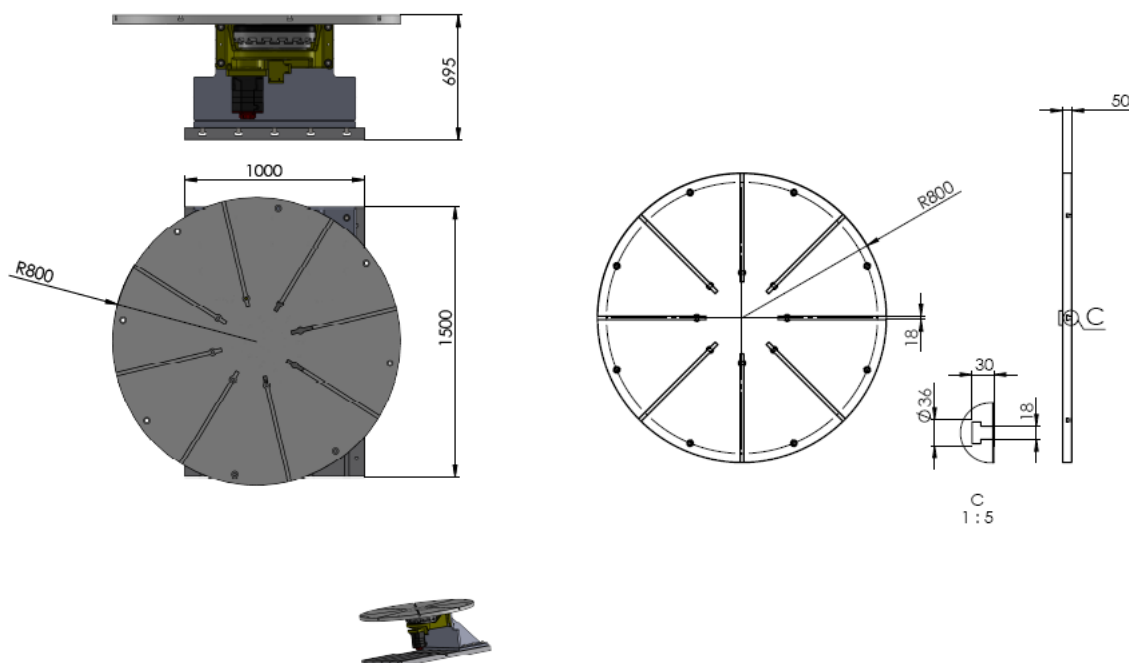
Obr. 63 půdorys výrobního pracoviště s kótami

Rozteč mezi osou robotu a osou otáčení polohovadla byl určený na hodnotu 2 115 mm. Tato veličina byla stanovena na základě animace 3D modelu robot – polohovadlo. Na obr. 64 je znázorněna minimální a maximální pracovní poloha robotu při frézování. Při realizaci je však možné mít v podlaze předpřipraveny kotvící otvory pro různé osové vzdálenosti robotu a polohovadla a měnit upevnění stolu polohovadla při neobvyklých rozměrech děl dle momentální potřeby.



Obr. 64 Minimální a maximální poloha robotu při frézování

Konstrukční řešení upínací desky a uložení na jednoosém polohovadle je zobrazeno na Obr. 65 a v příloze č. 11.



Obr. 65 Návrh jednoosého polohovadla s upínací deskou

## 5.2 Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého pracoviště

Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého pracoviště je posuzováno z pohledu předpokladu realizace, výpočtu hodinové sazby včetně stanovení doby návratnosti investic a dále podle ekonomiky provozu obchodní jednotky. Nedílnou součástí je i zhodnocení rizik realizace projektu.

### 5.2.1 Předpoklady realizace

Pracoviště je realizovatelné a může mít i ekonomickou návratnost za předpokladu, že se najde dostatečné množství zakázek. Pracoviště je využitelné pro širší oblast, kde je možnost na základě obrábění zhotovovat určité výrobky ze dřeva, či měkkých materiálů. I když je robotizované pracoviště prioritně navrženo jako náhrada ruční práce pro dřevěné sochy, může být ale i využito na práci pro reklamní agentury (např. na vánoční výzdobu z polystyrenu), pro architekty, pro výrobu modelů, výrobce nábytku na speciální prvky nábytku ze dřeva, pro tesaře na ukončovací hlavice trámů a podobně. Dalo by se najít mnoho dalších využití.

Pro realizaci je třeba zajistit kromě financí hlavně odpovídající obsluhu, která bude schopna i ochotna dostat z tohoto pracoviště maximum. Personální otázka bývá bohužel u podobných

pracovišť velmi podceňována. Na jednu stranu nám robotika šetří pracovní místa, lidé se ale musí o toto pracoviště stále starat, aby bylo ekonomicky návratné. A navíc obsluha musí být profesně zdatná a schopna se neustále učit novým věcem.

### 5.2.2 Výpočet hodinové sazby pracoviště a doba návratnosti investic

Jak už bylo shrnuto v předešlé kapitole 5.5.4, pro vybranou variantu B včetně opcí pro tvorbu modelu budou mít celkové pořizovací náklady hodnotu 5 037 500 Kč. S hodinovou sazbou 600 Kč/hod, bude návratnost investičních nákladů 4,4 roku. Pokud však bude snaha investiční náklady zaplatit během 3 let, pak musí být hodinová sazba stanovena na hodnotu 875 Kč/hod. Protože se však velmi zproduktivní výroba a čas výroby oproti ruční práci se několikanásobně sníží, lze u některých výrobků srovnatelně zvýšit na hodinovou sazbu 1 000 Kč/hod. Tím pádem se návratnost investice zkrátí na 2,6 roku.

Existuje však i varianta, kdy investice do nového zařízení je možno snížit a použít zařízení z druhé ruky. Jedná se však jen o nákup robota, případně polohovacího zařízení. Ostatní investice, tedy především nákup SW pro řízení robota (CAD/CAM systém), musí být plnohodnotný. HW a SW pro tvorbu modelů je možné dokoupit později a ze začátku využít služeb specializovaných firem. Tím pádem lze snížit investiční zátěž přibližně o 1 000 000 Kč. Při snížení všech těchto investic zde však hrozí velké riziko zhoršené funkčnosti a časté poruchovosti celého výrobního systému. Tím pádem se tato možnost nedoporučuje. Je daleko příznivější najít obchodně a hodnotově lukrativnější zakázky a dbát na efektivní organizaci práce bez větších prostojů. Nebo prodloužit pracovní dobu přiřazením další směny, případně bezobslužným provozem v době pracovního klidu (robot může pracovat i přes noc).

### 5.2.3 Ekonomika provozu obchodní jednotky

Jak už bylo napsáno, nelze jednoduše porovnávat ekonomiku provozu, kde robotizované pracoviště provádí sériovou, nebo hromadnou výrobu s navrženým konceptem robotizovaného pracoviště pro uměleckou výrobu. Nelze totiž přesně určit časový rozsah kreativní práce.

V příkladu Tab. 10 je naznačen způsob výpočtu prodejní ceny. Jako základ výpočtu slouží jednosměnný provoz, tedy 8 hodin denně pouze v pracovních dnech. To znamená 20 dnů v měsíci po 8 hodinách, což činí 1.920 hodin ročně. Výpočet prodejní ceny je rozdělen na tři pod-výpočty:

- Výpočet ceny návrhu – vytvoření grafického návrhu modelu v digitálním formátu.
- Výpočet ceny materiálu – cena polotovaru včetně režijních nákladů.
- Výpočet ceny výroby – výroba díla pomocí průmyslového robota.

Ceny jsou stanoveny na základě hodinových sazeb jednak mezd a příslušného pojištění, dále pak odpisů jednotlivých technologií a SW, nájmu a ostatních nákladů a služeb.

Doba odpisů dlouhodobého majetku je pro výpočet stanovena na 2 roky pro skener + SW pro tvorbu modelu a 4 roky pro průmyslový robot s příslušenstvím a SW pro řízení výroby.

Pro výpočet prodejní ceny byl zvolen případ, kdy na návrhu se bude pracovat 8 hodin a samotná výroba bude trvat 4 hodiny.

Z Tab. 15 je patrné, že prodejní cena takového výrobku je 18 425 Kč bez DPH. Cena s DPH je 22 294 Kč. Pokud bychom byli schopni porovnat ručně provedenou práci stejného rozsahu, prodejní cena bude přibližně v relaci 30 000 až 40 000 Kč.

Pokud využijeme zpětného výpočtu, tak lze stanovit minimální hodinovou sazbu pro oblast návrhu a dále pak pro oblast výroby:

- Minimální hodinová sazba návrhu modelu činí 858 Kč/hodinu.
- Minimální hodinová sazba výroby díla (bez materiálu činí 1 298 Kč/hodinu.

Tab. 15 Výpočet prodejní ceny výrobku

čas tvorby	8	hodin			
čas zpracování	4	hodin			
váha polotovaru	1 500	kg			
			<i>hod. sazba</i>	<i>za výrobek</i>	<i>měsíčně</i>
<b>prodejní cena</b>	cena návrhu	mzda/hod	500 Kč	4 000 Kč	80 000 Kč
		pojištění	34%	1 360 Kč	27 200 Kč
		odpis SW tvorba	110 Kč	880 Kč	17 600 Kč
		režie	10%	624 Kč	12 480 Kč
	cena materiál				
		cena/mat	2 000 Kč	3 000 Kč	120 000 Kč
		režie	10%	300 Kč	12 000 Kč
	cena výroby				
		mzda /hod	300 Kč	1 200 Kč	48 000 Kč
		pojištění	34%	408 Kč	16 320 Kč
		energie	70 Kč	280 Kč	11 200 Kč
		odpisy technol + SW	600 Kč	2 400 Kč	96 000 Kč
		nájem	125 Kč	500 Kč	20 000 Kč
		služby	15%	402 Kč	16 080 Kč
	<b>cena celkem</b>				
				<b>15 354 Kč</b>	<b>476 880 Kč</b>
		zisk	20%	3 071 Kč	95 376 Kč
	<b>cena bez DPH</b>				
				<b>18 425 Kč</b>	<b>572 256 Kč</b>
	Cena s DPH		21%	22 294 Kč	692 430 Kč

Z výpočtu prodejní ceny výrobku jsou na základě doby návrhu a výroby stanoveny měsíční tržby a vypočítány odpovídající měsíční náklady. A z rozdílu tržeb na nákladů je stanoven měsíční zisk obchodní jednotky. Tato data jsou znázorněna v Tab. 16 jako Výkaz tržeb a nákladů.

Tab. 16 Výkaz měsíčních tržeb a nákladů obchodní jednotky

tržby	572 256 Kč	<i>předpoklad pro výpočet je výroba 40 výrobků měsíčně</i>
náklady na materiál	-120 000 Kč	<i>cena materiálu je kolem 2 000 Kč/tunu - váha 1 500 kg/ks</i>
náklady na energie	-11 200 Kč	<i>průměrná spotřeba je 20 kW/hod. práce při ceně 3,50 Kč/kWh</i>
mzdové náklady	-128 000 Kč	<i>tvůrčí pracovník 500 Kč/hod. a technik 300 Kč/hod.</i>
zdravotní a sociální	-43 520 Kč	<i>zdravotní a sociální odvody 34 %</i>
náklady na odpisy techn	-96 000 Kč	<i>odpis technologie a SW řízení - 4 roky</i>
náklady na odpisy model	-17 600 Kč	<i>odpis modelovacího SW + skener - 2 roky</i>
finanční náklady	-24 500 Kč	<i>úroky z úvěru a ostatní finanční náklady</i>
nájem	-20 000 Kč	<i>nájem nebytových prostor</i>
náklady na služby	-16 060 Kč	<i>odhad služeb (ostatní náklady)</i>
celkem náklady	-476 880 Kč	<i>celkové náklady/měsíc</i>
zisk	<b>95 376 Kč</b>	<i>celkový zisk/měsíc</i>

Z tabulky je zřejmé, že při takovém vytížení robotizovaného pracoviště lze kumulovat zisk. Ten lze použít pro rychlejší splacení úvěru případně pro další rozvoj obchodní jednotky.

V případě, že obchodní jednotka časem získá další zakázky pro sériovou výrobu, je možnost navýšení kapacity robotu o další směnu, případně o krátkodobý nepřetržitý provoz – kampaňovitě (splnění zakázky), nebo trvale nepřetržitý provoz. V těchto případech je však potřeba doplnění stavu pracovníků, případně zajištění kontroly chodu robota vzdáleným přístupem a pohotovostí obsluhy. Významně by se pak snížila návratnost investic a využití technologie. Tato situace by však již nenahrávala tvůrčí práci umělce, nebo designera, kvůli čemuž bylo prioritně pracoviště vytvořeno.

#### 5.2.4 Rizika realizace

Hlavním rizikem úspěšného spuštění pracoviště je získání dostatečného množství vstupního základního kapitálu. Základní kapitál na investiční nákup technologií, SW, příslušenství a vybavení pracoviště může být buď vlastní (osobní kapitál majitele, případně více majitelů), nebo cizí, tedy za pomoci úvěrů, leasingu. Kromě investičních nákladů je nutné mít i provozní kapitál na nákup surovin, platbu energií, lidských zdrojů a také případných pronájmů a licencí a ostatní služby.



Dalším rizikovým faktorem jsou lidské zdroje. Počínaje kreativním pracovníkem, přes technickým pracovníkem se znalostí robotiky, až po zdatného obchodníka, schopného prodat umělecká a designová díla, ale taky získat zakázky pro malo- i velkosériovou výrobu s vyšším využitím potenciálu pořízené špičkové techniky.

Dalším možným rizikem se jeví i vhodný pronájem (s případným pozdějším odkupem) dostatečně velké plochy nebytových prostor pro všechna pracoviště s dostatečně silným přívodem elektrické energie na pracoviště a s dostupností dovozu materiálu a odvozu hotových výrobků.

Co se týče bezporuchového chodu veškeré nakoupené techniky a technologie, je nutné mít zajištěno veškeré servisní zázemí od dodavatelů, včetně podepsaných servisních smluv. Na druhé straně je potřeba udržovat techniku a technologii v bezvadném stavu, čistou a s pravidelnými servisními kontrolami dle požadavků výrobce. Proti všudypřítomnému prachu z obrábění je nutné chránit techniku robota rukávem s přetlakem vzduchu a mít funkční odsavač prachu s hubicí umístěnou co nejbližší frézování. Zajištění bezpečnosti pracoviště je základním kamenem pro eliminaci možných zranění a zastavení výroby odpovědnými úřady.

## Závěr

Tato práce měla za hlavní cíl navrhnout možné řešení robotizovaného pracoviště k obrábění lehce obrobitelných materiálů (například dřeva) s využitím robotu s frézovací hlavou, které bude sloužit k umělecké a tvůrčí činnosti. Jako cíle práce bylo stanoveno vyhledání a navržení vhodných technologií a technických a bezpečnostních prostředků pracoviště, vyhledání a navržení SW prostředků pro umělecké ztvárnění myšlenky umělce, či designera (zhotovení modelu), a SW pro výpočet a návrh drah obrábění, včetně samotného řízení robota při realizaci díla a zhodnocení reálnosti navrženého pracoviště a posouzení ekonomické smysluplnosti navrženého pracoviště. Cíle této práce byly splněny.

Byla naplněna i představa, aby pracoviště moderními prostředky odstranila těžkou a namáhavou práci umělce a umožnila mu jiný způsob ztvárnění a zhmotnění jeho představ, a to pomocí moderní techniky a technologie.

Práce se zaměřila i na to, aby v návrhu pracoviště, případně obchodní jednotky porozuměl nejen technicky zaměřený pracovník (například obsluha robotu), ale i případný investor, který bude mít zájem vstoupit do jakékoliv formy spolupráce a podílet se na investicích, které takové pracoviště zpočátku bude velmi potřebovat. Každý z výše zmíněných titulů má ze své pozice svůj pohled a bude hledat v práci něco jiného. Technika nejvíce zajímá, zda je pracoviště jednoduše ovladatelné, zda SW, který bude používat, je jednoduchý na naučení, spolehlivý a zda má v okolí a národním jazyce podporu. Ekonom na rozdíl od technika bude zajímat samozřejmě návratnost a ziskovost pracoviště. Umělce, případně majitele a obchodníka v jednom, bude hlavně zajímat především schopnost tvořit za použití co možná nejintuitivnějších prostředků virtuální reality a rychlosti ztvárnění jeho představ do digitálního modelu a následně i do hotového díla. Znamená to sice jiný přístup k výtvarům než u klasické sochařiny, či řezbařiny, ale určitě si své zákazníky najde a bude mít stejnou uměleckou prestiž, jako zmíněné klasické řemeslo. A navíc zhmotnění myšlenek bude o hodně rychlejší a fyzicky snadnější, než budou mít jeho klasičtí kolegové.

Obráběcí robotické pracoviště navržené s robotem FANUC, moderními technologiemi skenování a modelování, včetně přípravy drah v systému Robotmaster splňuje jak zadání, ekonomiku, tak technickou prestiž.

Cena pracoviště je vyšší, než byl původní záměr, tuto investici ovšem vyvažují možnosti využití a rychlosti zpracování. Uživatel může v dnešním digitálním světě využít jak původních modelovacích postupů (práce do hlíny) pomocí Haptického zařízení Geomagic, tak pro účely

například kopií starých děl využít skeneru Go!SCAN 3D. Tento ruční skener, který lze použít kdekoliv na pracovišti díky své mobilitě pomůže i při definici polotovaru. Software SolidCAM a Mastercam s Robotmastrem jsou podporované systémy s širokým rozšířením na našem trhu.

Na závěr lze konstatovat, že obráběcí pracoviště pomocí robotu je již v dnešních podmínkách, cenách a technických možnostech reálné postavit a také s úspěchem provozovat.

## Seznam použité literatury

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] Hromádka, Kamil. *Panna Marie dům u Špuláků*. [online]. 2018 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=S458kDTfFYU&feature=youtu.be>
- [3] Hromádka, Kamil. *Kašna Syenit výroba*. [online]. 2013 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=oBIK9Qko0Zg>
- [4] Special Patterns. *Hybrid Robotic Foam Hotwire Sculpting and Machining. The Evolution of pattern making!*. [online]. 2017 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=0\\_oVejBXe0c](https://www.youtube.com/watch?v=0_oVejBXe0c)
- [5] Grind Master. *Beautiful Lady statue carved by Robotic Sculpture Making Machine*. [online]. 2018 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=zWG6ZtKv8Ww>
- [6] Thibaut Machine Tools. *TRANSFORMER - THIBAUT robot 6/7/8 axes*. [online]. 2014 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=l6P2ucVUE50>
- [7] FANUC America Corporation. *Aerospace Drilling & Deburring Robot - The New FANUC M-900iB/700 Robot*. [online]. 2013 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=JG1DprGbNMs>
- [8] Velichko Velikov. *Miling solid wood with Kuka robot KR150 and Sprutcam*. [online]. 2015 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=LnA5kKqcDhA>
- [9] CNCFineline. *CNC robotic tree sculpting - Awesome time lapse!*. [online]. 2014 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=FmNu5IkdOzU>
- [10] 3DW. *Miling a bathtub out of precious walnut wood*. [online]. 2013 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=GwKVBil6syU>
- [11] SoliCADcz. *Robotic milling - robotické frézování - SoliCAD, s.r.o.*. [online]. 2013 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=O4hjq0dnWSQ>
- [12] Robotmaster. *Milling of Circular Staircase Stringers*. [online]. 2013 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=m\\_sQPcMgrc0](https://www.youtube.com/watch?v=m_sQPcMgrc0)
- [13] IMVDesign. *Robotické frézování*. [online]. 2013 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <http://www.imvdesign.cz/produkty/produkty/roboticke-frezovani.htm>
- [14] Sonetech. *Robotmaster*. [online]. 2015 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <http://sonetech.cz/robotmaster/>
- [15] Mastercam. *CAM – programování*. [online]. 2018 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <http://www.mastercam.cz/produkty/camprogramovani>

- 
- [16] Tebis. *CAD/CAM MES*. [online]. 2018 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://www.tebis.com/en>
- [17] SPRUTCAM. *SPRUT Technology*. [online]. 2018 [cit. 2019-09-15]. Dostupné z: <https://sprutcam.com/cs/>
- [18] Siemens NX CAM – RobotExpert. *Digitally transform part production using NX for Manufacturing*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/cz/products/nx/nx-for-manufacturing.html>
- [19] 3D SCAN. *3D skenování*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz>
- [20] Prima. *Software Polyworks Modeler*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/software-polyworks-modeler/>
- [21] 3D SCAN. *Software*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/software/>
- [22] SolidVision. *SolidWorks - 3D CAD navrhování*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidworks/>
- [23] Cadstudio. *Autodesk Alias*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.cadstudio.cz/alias>
- [24] Rhinoceros. *Rhino refined*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.rhino3d.com/>
- [25] TPV group. *NX CAD*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.tpvgroup.cz/nx-cad/>
- [26] 3D SCAN. *Haptic hardware*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/3d-haptic/haptic-hardware/>
- [27] 3D SCAN. *Geomagic SCULPT*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/software/design-a-3d-tisk/geomagic-sculpt/>
- [28] ABB. *IRB 6700*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6700>
- [29] KUKA. *KR Quantec*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr-quantec>
- [30] Fanuc. *R-2000iC/165F*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stránka-filtru-robotů/řada-r-2000/r-2000ic-165f>
- [31] Yaskawa. *Motoman robots*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.yaskawa.eu.com/application/industries/industry/metalworking\\_i190](https://www.yaskawa.eu.com/application/industries/industry/metalworking_i190)
-

- [32] Walter. *Walter Machining Calculator*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/en-us/press/media-portal/apps/tools-more/pages/default.aspx>
- [33] Pilana market. *Spirálová falcovací fréza s VBD - CNC 80x81,4x30 16+2*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/spiralova-falcovaci-freza-s-vbd-cnc-80x81-4x30-16-2/#popis-parametry>
- [34] Pilana market. *Kulová fréza modelářská SK R20 40x60/160 d=25mm - CNC*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.pilanamarket.cz/kulova-freza-modelarska-sk-r20-40x60-160-d-25mm-cnc/>
- [35] Stopkové frézy. *Kleštinový upínač CNC HSK 63F - ER40 RH*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.stopkovefrezy.cz/Klestinovy-upinac-CNC-HSK-63F-ER40-RH-d774.htm>
- [36] Fanuc. *Řídicí jednotka J-30iB*. [online]. 2020 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/controller-j-30ib>
- [37] PDS. *XLHS Spindle*. [online]. 2017 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.pdsspindel.de/en/automatic-tool-change>
- [38] RICO CNC. *CNC Tool Clips*. [online]. 2018 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.ricocnc.com/products/11-CNC-Tool-Clips-HSK63F-Toolholder-Forks-for-Tool-Changer-Replacement.html>
- [39] Fanuc. *Servo polohovadla FANUC*. [online]. 2018 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/pohyb/polohovadla>
- [40] Profesional. *Stôl otočný horizontálny / vertikálny SOPP 315 mm*. [online]. 2018 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.naradie-profesional.sk/stol-otocny-horizontalny-vertikalny-sopp-315-mm>
- [41] MT servis Zlín. *Produkty*. [online]. 2018 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: [http://mtserviszlin.cz/prodej-manipulacni-techniky/?utm\\_source=seznam&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=Prodej+\(lok%C3%a1ln%C3%ad,+pouze+vyhled%C3%a1v%C3%a1n%C3%ad\)&utm\\_content=Vysokozdvi%C5%ben%C3%a9+voz%C3%adky+HANGCHA](http://mtserviszlin.cz/prodej-manipulacni-techniky/?utm_source=seznam&utm_medium=cpc&utm_campaign=Prodej+(lok%C3%a1ln%C3%ad,+pouze+vyhled%C3%a1v%C3%a1n%C3%ad)&utm_content=Vysokozdvi%C5%ben%C3%a9+voz%C3%adky+HANGCHA)

# Přílohy

## **Příloha č. 1 Základní otázky pro tvorbu požadavkového listu**

**Soupis robotizovaného pracoviště by se měl zabývat řešením pěti základních částí:**

- I. Materiál pro výrobu a tok materiálu výrobou.
- II. Technologie použitá na tomto pracovišti i s potřebnými nástroji a periferiemi.
- III. Prostředky pro návrh výrobku a řízení procesu výroby (SW a pomocná technika).
- IV. Prostorem pro umístění tohoto pracoviště (včetně přívodu potřebných medií).
- V. Bezpečností.

### **Materiál pro výrobu a tok materiálu výrobou**

- Jaký materiál se bude obrábět?
- Jaké budou fyzikální vlastnosti materiálu?
- Jaká bude maximální velikost polotovarů?
- Jaká bude maximální váha polotovaru?
- Jakým způsobem bude zajištěn dovoz polotovarů?
- Jak bude řešeno skladování polotovarů?
- Jaké budou podmínky skladování polotovarů?
- Jaký bude tok materiálu procesem?
- Jak bude zajištěn přesun materiálu?
- Jak bude řešeno skladování hotového výrobku?
- Jaké budou podmínky skladování hotových výrobků?
- Jakým způsobem bude zajištěn odvoz hotového výrobku?
- Jaké technologie budou použity pro materiálový tok napříč procesem?
- Jak se bude materiál a hotový kus upínat pro přepravu?
- Jaké bude uložení ve vstupním skladu?
- Jaké skladovací podmínky jsou nutné?
- Kolik prostoru je potřeba pro manipulaci?

### **Použitá technologie i s potřebnými nástroji a periferiemi**

- Jaké technologie budou použity pro skládání polotovarů a naložení hotových výrobků?
- Jak bude zajištěno upnutí polotovaru při procesu výroby?
- Jak bude zajištěna kontrola tvaru a rozměrů upnutého polotovaru?
- Jaké typ robota bude použitý pro proces obrábění?
- Jaký bude jeho maximální příkon?
- Jaké budou jeho dosahy ramene?
- Kolik druhů obrábění bude při procesu potřeba?
- Jaké konkrétní druhy obrábění to budou?
- Jaké frézovací vřeteno je potřebné pro dané obrábění?
- Jaké musí mít maximální otáčky?
- Jaký příkon bude mít frézovací vřeteno?
- Kolik nástrojů bude sloužit k obrábění?
- Jak bude zajištěna výměna nástrojů?
- Kolik pozic musí mít dokovací stanice na odkládání nástrojů?
- Jaká další periferie jsou nutné k zajištění správné funkce obrábění?
- Jak bude zajištěna kontrola rozměrů hotového výrobku?
- Jakým způsobem budou odváděny zbytky odfrézovaného materiálu?
- Jak bude zajištěna ochrana funkčních částí robota?
- Jak bude zabezpečena ochrana osob v prostoru okolí robota?



- Jaký je maximální uvažovaný průměr nástroje?
- Kolik nástrojů na obrábění bude třeba?
- Jakým způsobem budou nástroje seřizovány?
- Jak bude prováděno umístění nástrojů do zásobníku?
- Kolik držáků a jakých typů bude třeba mít skladem?
- Jaká je životnost nástrojů?

### **Prostředky pro návrh výrobku a řízení procesu výroby (TPV)**

- Co musí splňovat program pro návrh výrobku?
- Jaké příslušenství je potřebné pro doplnění k návrhu výrobek?
- Jsou potřebné pevnostní výpočty v návrhu výrobku?
- Je nutné vyrobít nejprve zmenšený model výrobku?
- Je potřeba, aby systém komunikoval s dalšími systémy?
- Jaký je řídicí systém robota?
- Je možné využít samostatný systém CAM pro řízení vybraného robota?
- Co by měl systém CAM dále splňovat?
- Je potřebné, aby systém CAM dovedl sám počítat a řídit otáčky včetně frézovací hlavy?

### **Prostor pro umístění pracoviště**


- Jaké rozměry má mít objekt robotizovaného pracoviště?
- Jaké rozměry má mít prostor přípravy a skladování?
- Jaký má být prostor přípravy a skladování z pohledu teploty, klimatu a vlhkosti?
- Jak má být zajištěn přístup do prostoru přípravy a skladování?
- Jakým způsobem se bude manipulovat s polotovary a hotovými výrobky?
- Jaké typy zdvihacích zařízení by měly být k dispozici v prostoru přípravy a skladování?
- Jaké nosnosti zdvihacích zařízení jsou potřebné?
- Jakými vstupními médii a kapacitou má být připojen prostor přípravy a skladování?
- Jak musí být zabezpečený prostor přípravy a skladování?
- Jaké rozměry má mít prostor výroby?
- Jaké technologie a příslušenství budou umístěny v prostoru výroby?
- Jakými vstupními médii a s jakou kapacitou má být připojen prostor výroby?
- Jak bude manipulováno s polotovary a hotovými výrobky v prostoru výroby?
- Jak bude zabezpečen odvod odděleného materiálu od polotovarů?
- Jaké prostředí a klima má být v prostoru výroby?
- Jak má být zabezpečen prostor výroby?
- Jaké rozměry má mít prostor řízení?
- Jakým způsobem má být zajištěna vizuální kontrola procesů na pracovišti?
- Jaké technologie a příslušenství budou umístěny v prostoru řízení?
- Jakými vstupními médii a s jakou kapacitou má být připojen prostor řízení?
- Jaké prostředí a klima má být v prostoru řízení?
- Jak má být zabezpečen prostor řízení?
- Jaké bezpečnostní hlediska mají být splněny pro celý objekt?

### **Bezpečnost a posouzení rizika**


- Jaké bezpečnostní normy a směrnice je třeba pro robotizované pracoviště dodržet?
- Jaké jsou harmonizované normy pro robotizované pracoviště?
- Jaké základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnosti je třeba dodržovat?
- Jaké bezpečnostní normy se vztahují k návrhu a konstrukci strojních zařízení?

## Příloha č. 2 – Technická data robotu FANUC R-2000iC/165F

R-2000iC/165F



Max. load capacity  
at wrist: **165 kg**



Max. reach:  
**2655 mm**

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s]						J4 Moment/Inertia (Nm/kgm²)	J5 Moment/Inertia (Nm/kgm²)	J6 Moment/Inertia (Nm/kgm²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.05*	1090	370	136	312	720	250	720	130	115	125	180	180	260	940/120	940/120	490/100



### Robot

**R-2000iC/165F**

Robot footprint [mm]

**771 X 610**

Mounting position Floor

●

Mounting position Upside down

-

Mounting position Angle

-



### Controller

**R-30iB Plus**

Open air cabinet

-

Mate cabinet

○

A-cabinet

●

B-cabinet

○

iPendant Touch

●

### Electrical connections

Voltage 50/60Hz 3phase [V]

**380-575**

Voltage 50/60Hz 1phase [V]

-

Average power consumption [kW]

**2.5**

### Integrated services

Integrated signals on upper arm In/Out

**8/8**

Integrated air supply

**2**

### Environment

Acoustic noise level [dB]

**70.5**

Ambient temperature [° C]

**0-45**

### Protection

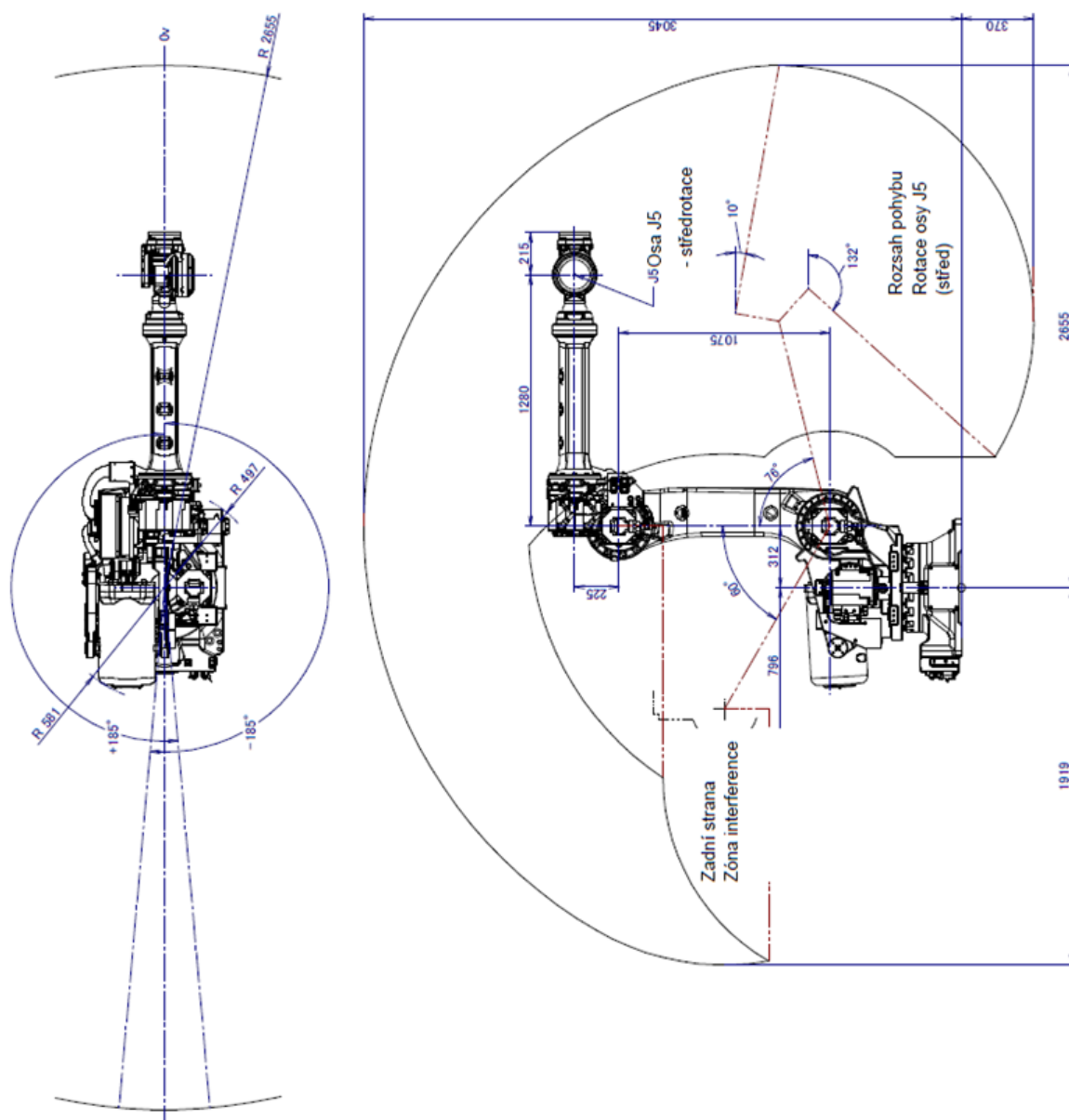
Body standard/optional

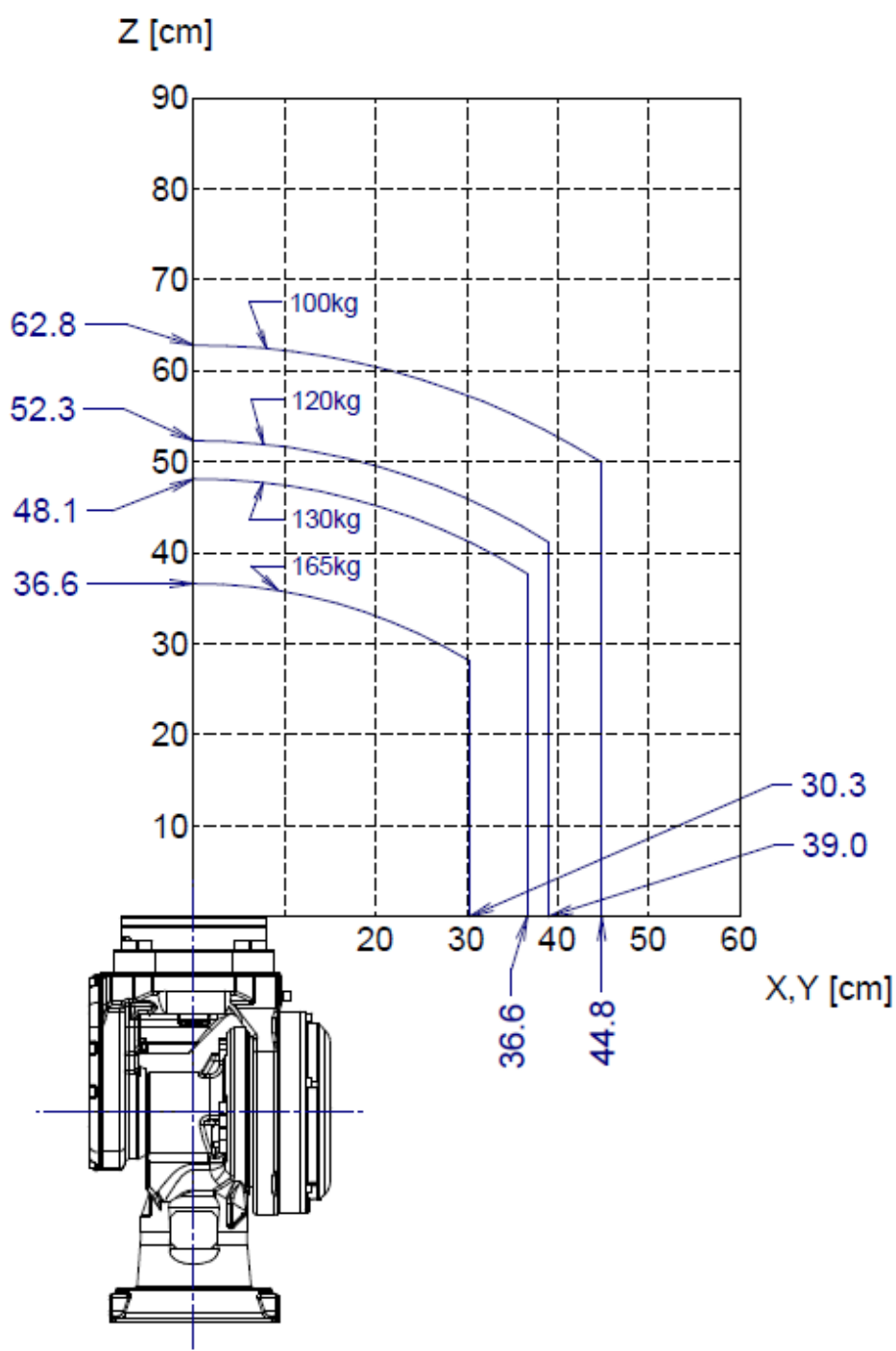
**IP54/IP56**

Wrist &amp; J3 arm standard/optional

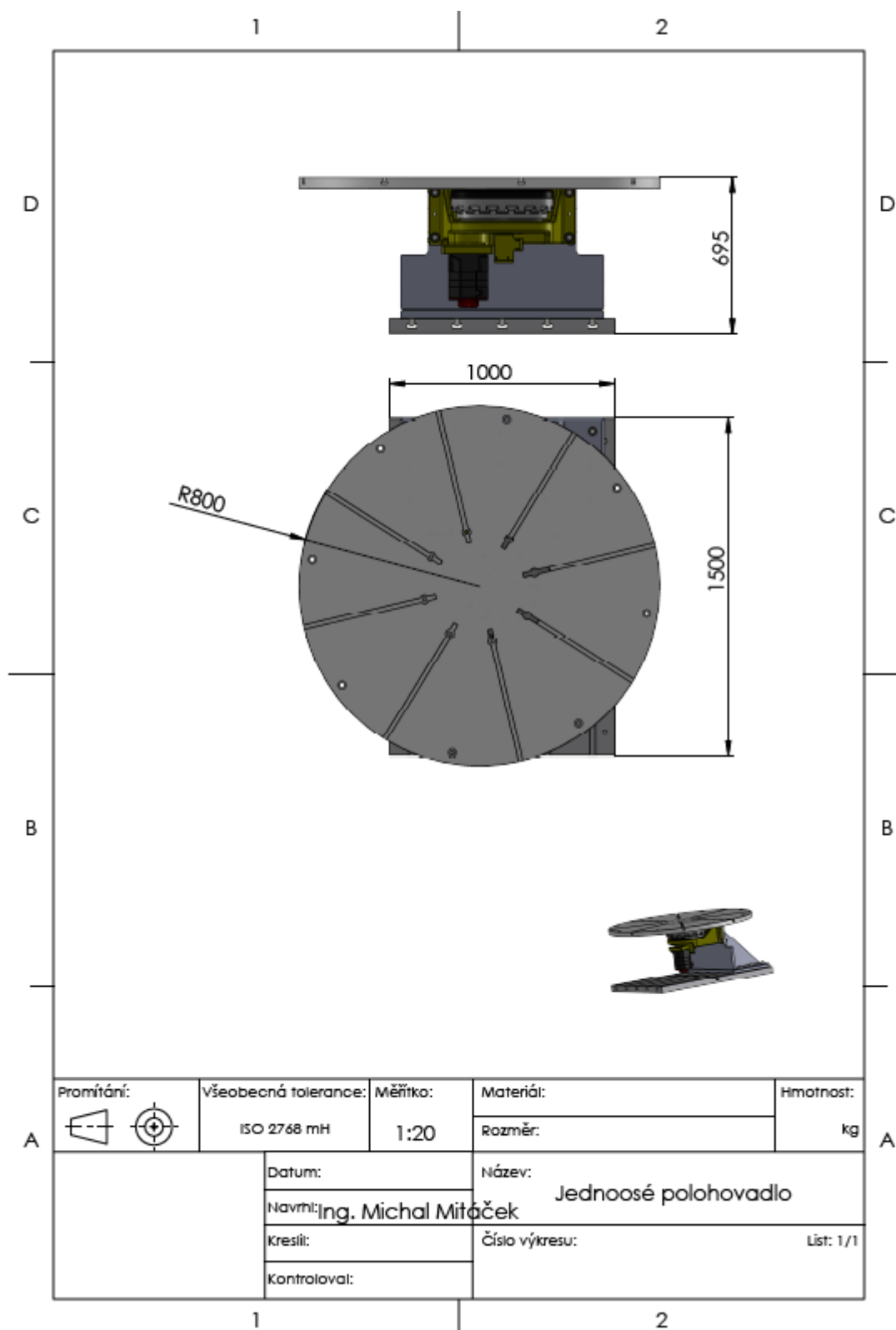
**IP67**

## Příloha č. 3 – Dosahy robotu FANUC R-2000iC/165F

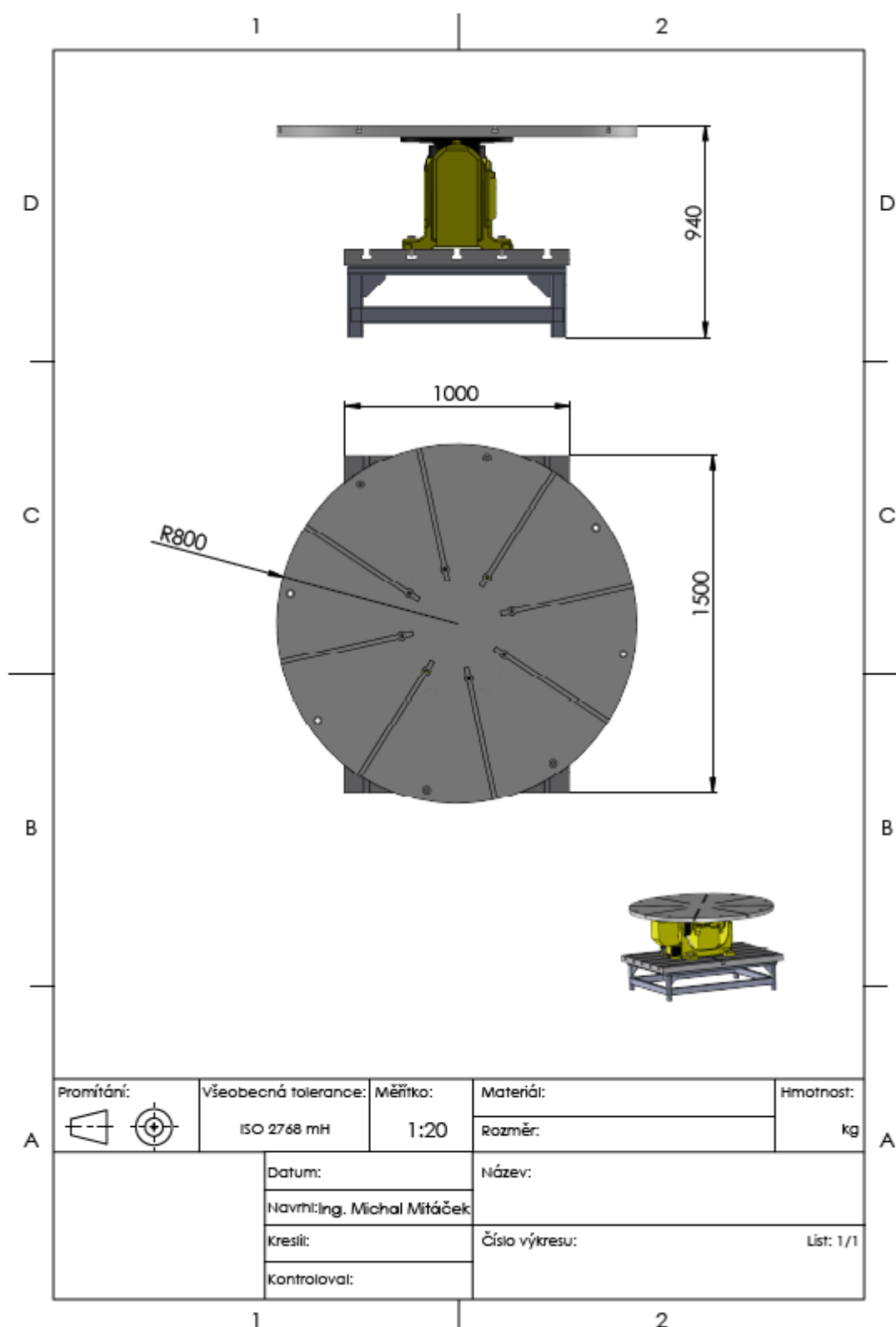


**Příloha č. 4 – Graf zatížení kloubu robota R-2000 iC/165F**

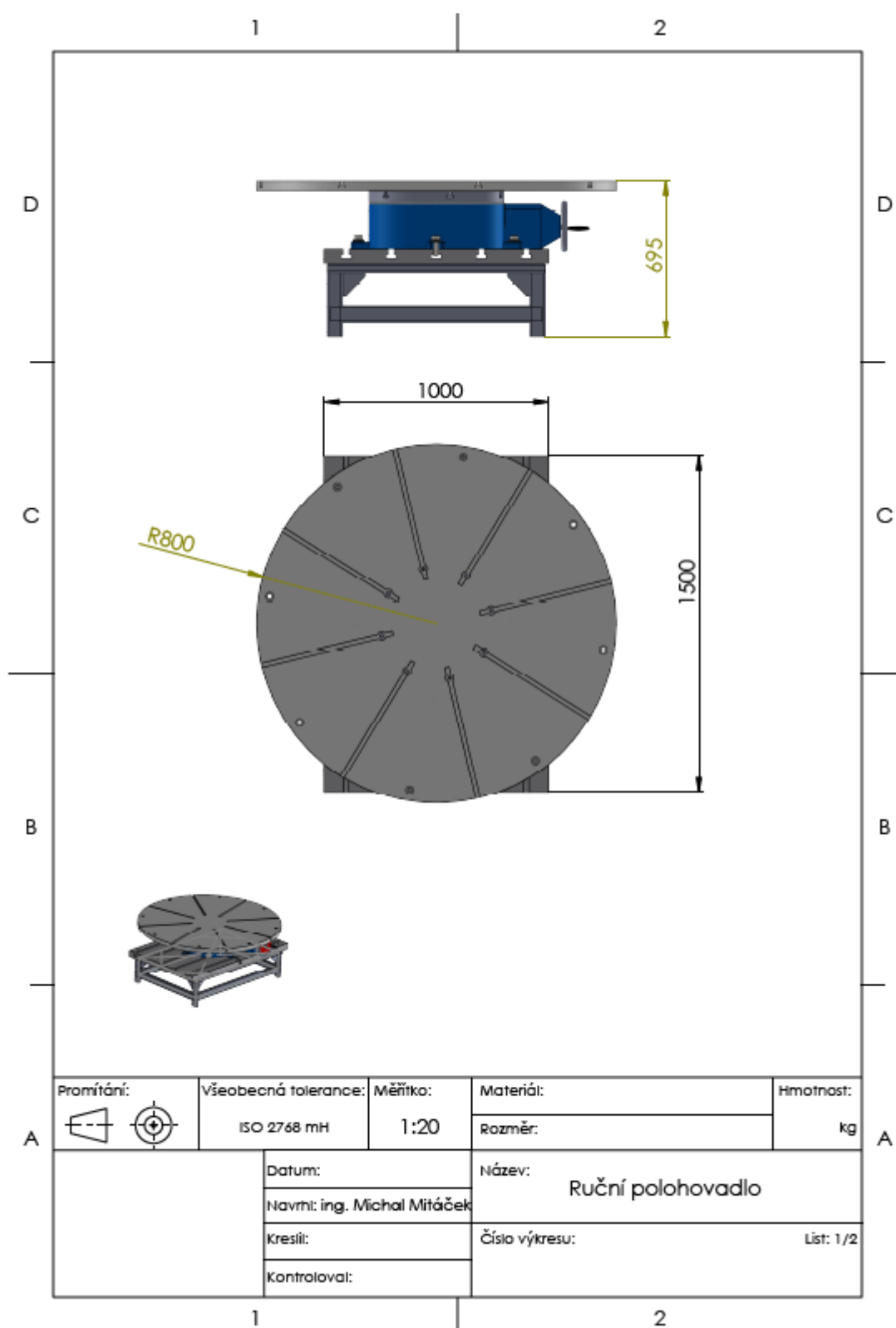
## Příloha č. 5 – Upínací deska se stolem a jednoosým polohovadlem



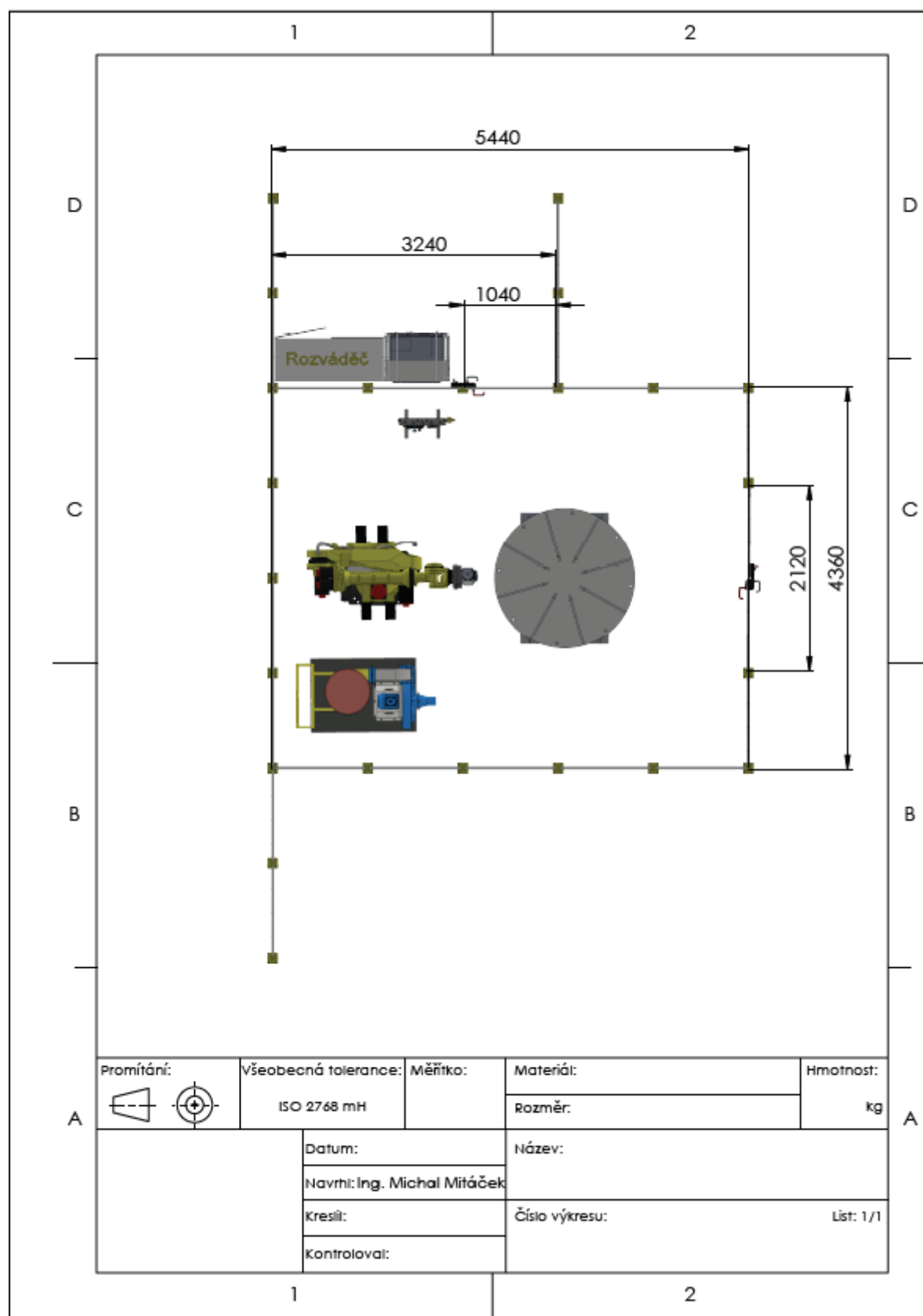
## Příloha č. 6 – Upínací deska se stolem a dvouosým polohovadlem



## Příloha č. 7 – Upínací deska s se stolem a ručním polohovadlem

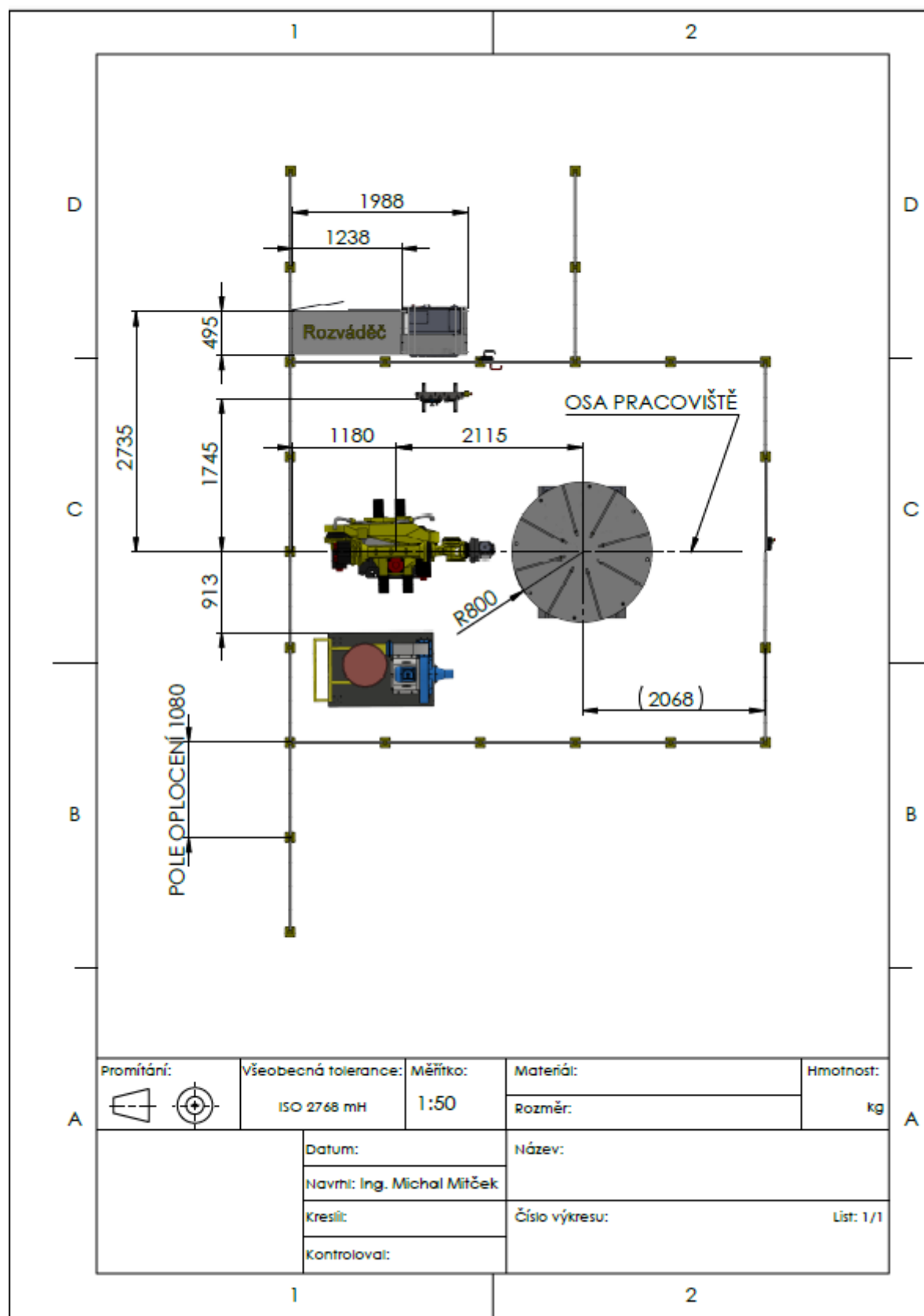


## Příloha č. 8 – Půdorys uspořádání výrobního prostoru 1

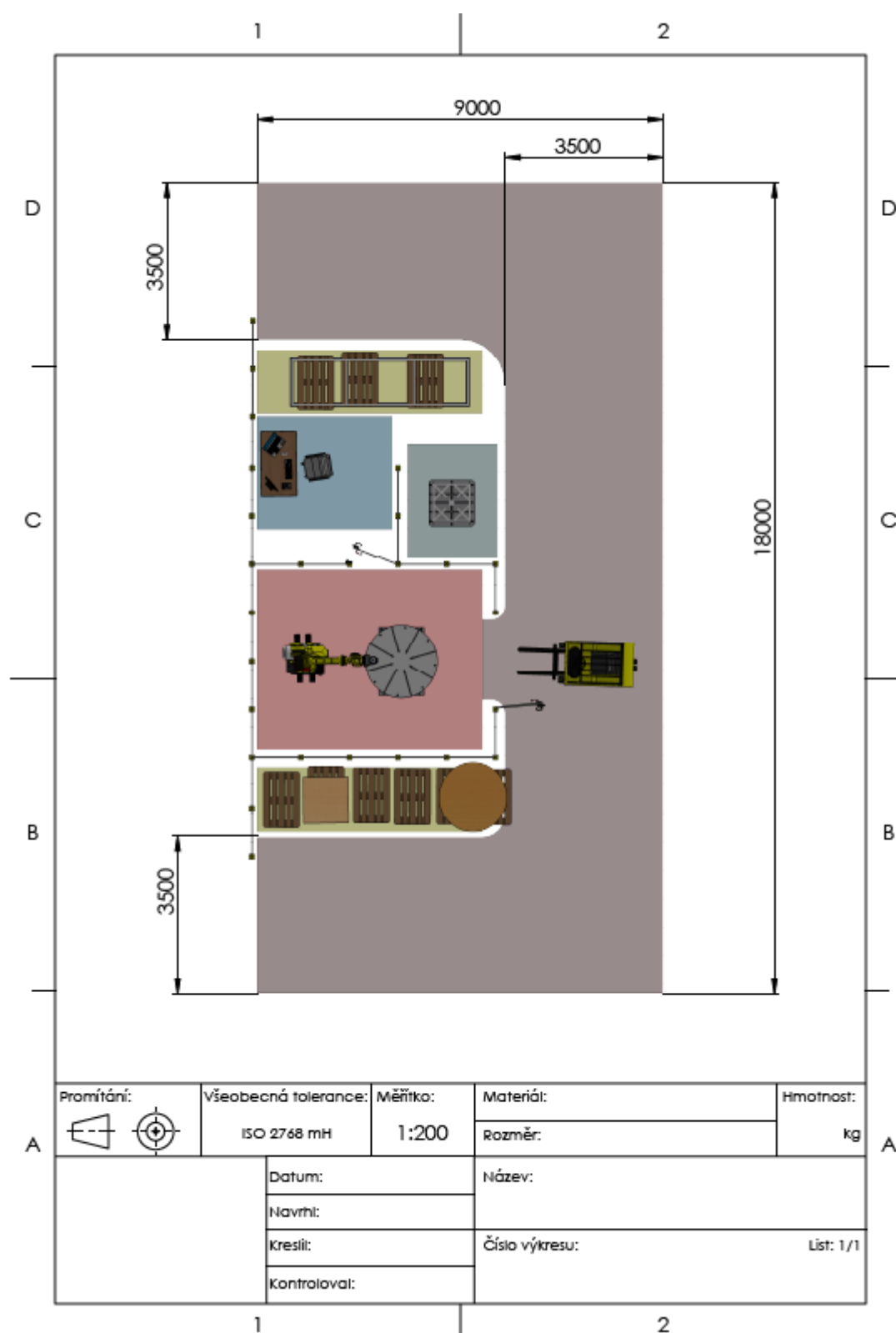




## Příloha č. 9 – Půdorys uspořádání výrobního prostoru 2



## Příloha č. 10 – Půdorys uspořádání celého pracoviště



## Příloha č. 11 – upínací deska konstrukční rozměry

